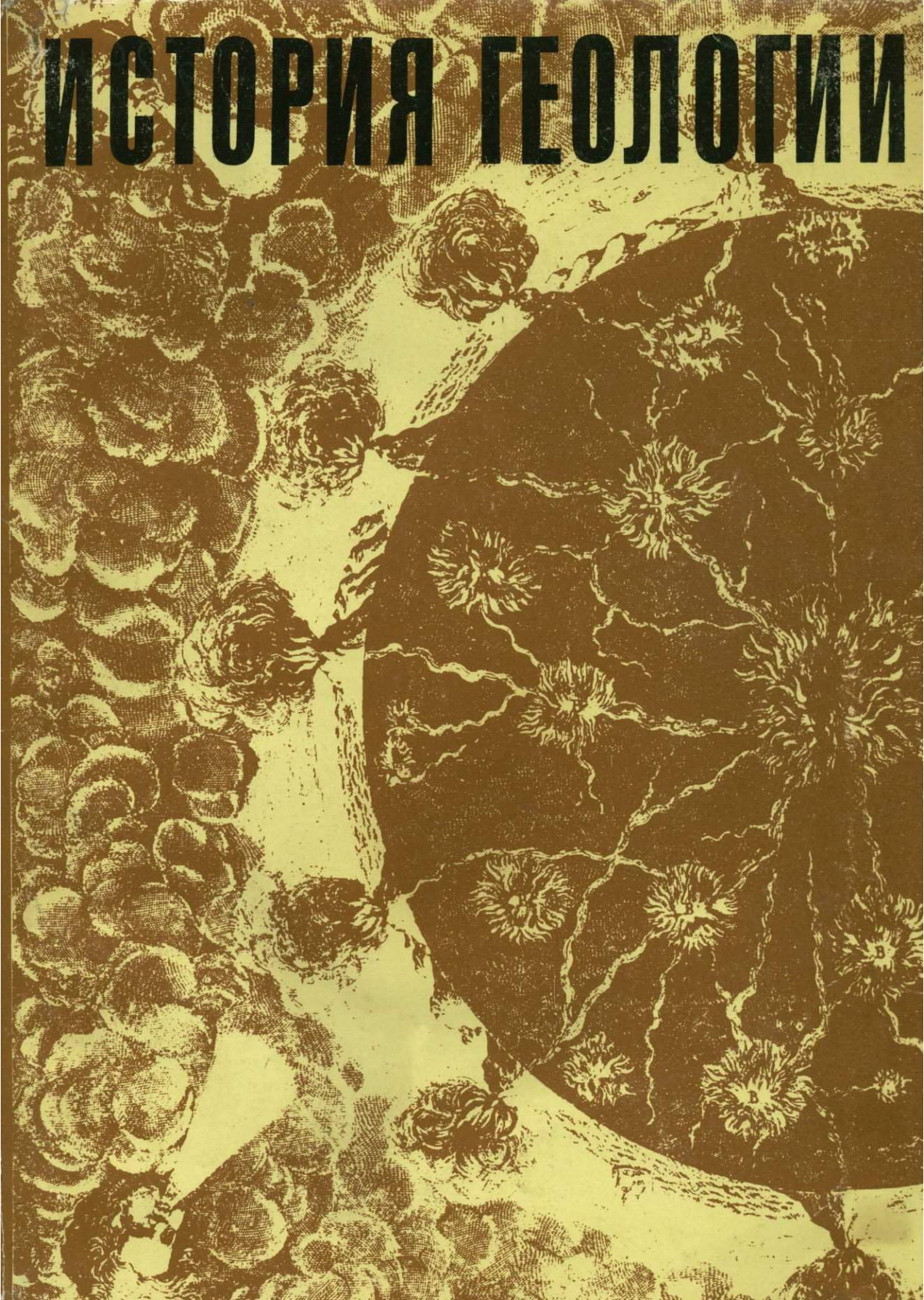
ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИИ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

*

УДК 55(091)

История геологии. М., «Наука», 1973 г.

В составлении коллективной монографии приняли участие крупные специалисты основных отраслей геологии. Авторами впервые сделана попытка на основе анализа огромного фактического материала проследить развитие научных теорий и идей с древнего времени до 70-х годов XX в. Книга рассчитана на широкий круг читателей.
Таблиц 1. Библ. 937 назв. Иллюстраций 59.

Редакционная коллегия

И. В. БАТЮШКОВА, Д. И. ГОРДЕЕВ, В. В. ТИХОМИРОВ,
В. Е. ХАИН, А. Л. ЯНШИН

Ответственный редактор

И. В. БАТЮШКОВА



2-9-1
№ 610—1973 г.

55(091)

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИИ

ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ
И РАННИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И СТАНОВЛЕНИЕ
НАУЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

РАЗВИТИЕ ТОЧНЫХ МЕТОДОВ В ГЕОЛОГИИ

563



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» • МОСКВА 1973

УДК 55(091)

История геологии. М., «Наука», 1973 г.

В составлении коллективной монографии приняли участие крупные специалисты основных отраслей геологии. Авторами впервые сделана попытка на основе анализа огромного фактического материала проследить развитие научных теорий и идей с древнего времени до 70-х годов XX в. Книга рассчитана на широкий круг читателей.
Таблиц 1. Библ. 937 назв. Иллюстраций 59.

Редакционная коллегия

И. В. БАТЮШКОВА, Д. И. ГОРДЕЕВ, В. В. ТИХОМИРОВ,
В. Е. ХАИН, А. Л. ЯНШИН

Ответственный редактор

И. В. БАТЮШКОВА



2-9-1
№ 610—1973 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Составление монографии по всеобщей истории геологии является давно назревшей необходимостью. Проводившиеся до сих пор исследования в области истории геологических наук в большинстве случаев были посвящены анализу истории какого-либо одного вопроса, определенной идеи, направления, метода или же отдельной отрасли геологии. Работ, освещающих пути развития геологии в целом, почти нет, а имеющиеся единичные сводные обзоры по разным причинам нельзя считать вполне удовлетворительными. Все же следует упомянуть такие труды, как «История геологии и палеонтологии до конца XIX столетия» К. Циттеля (Zittel, 1899) «Краткий очерк истории геологических знаний А. П. Павлова (1921), «История геологии» К. Гуммеля (Hummel, 1925). Однако они изданы очень давно, и повествование в них не идет дальше XIX в. Кроме того, в этих работах почти нет материалов по истории наук минералого-петрографического цикла. Из исследований более позднего времени можно назвать работы Ф. Д. Адамса «Зарождение и развитие геологических наук» (Adams, 1954), Г. Хельдера «Геология и палеонтология в текстах и их истории» (Hölder, 1960) и др.

В работах зарубежных ученых как раннего, так и более позднего времени основной акцент сделан на историю западноевропейской науки и почти совершенно не упомянут вклад ученых России и ряда других стран в развитие геологии.

Эти проблемы были несколько восполнены в книгах В. В. Тихомирова и В. Е. Хаина «Краткий очерк истории геологии» (1956), А. И. Джанелидзе «Очерки по истории геологии» (1959) и в учебнике Д. И. Гордеева «История геологических наук» (т. I, 1967). Однако и эти труды недостаточно полны. Неполнота многих из указанных работ до некоторой степени объясняется тем, что одному исследователю невозможно одинаково детально осветить развитие всех многочисленных отраслей геологической науки во всех странах мира. Проблема создания всеобъемлющего труда по всемирной истории геологии может быть решена лишь путем коллективного международного сотрудничества историков геологии многих стран. Понадобится продолжительное время для дальнейшего изучения развития геологии, ее отраслей и направлений в различных странах. Тем не менее, учитывая необходимость

скорейшего издания подобного сводного труда, коллективом советских геологов была предпринята попытка составления настоящей монографии по всемирной истории геологии, охватывающей период с древнейших времен до наших дней. Написание этой книги многими геологами — специалистами различных геологических наук (всего 18 авторов) позволило, как нам кажется, обеспечить бóльшую, чем в предыдущих работах, глубину анализа истории соответствующих отраслей нашей науки.

Вместе с тем оказалось чрезвычайно трудным осветить с исчерпывающей полнотой все труды и гипотезы, имевшие влияние на развитие геологии, и здесь, возможно, остались пробелы. Оказалось невозможным также сохранить единый стиль изложения разных авторов. В некоторых случаях не удалось избежать повторений в различных главах и разделах. Редакторы настоящей книги, подготавливая издание первой коллективной монографии по истории геологии, отчетливо сознают, что она не лишена многих недостатков, связанных с трудностью охвата и коллективного изложения огромного материала. Работа была готова к печати в 1967 г., однако по независящим от авторов причинам выходит с задержкой. Редколлегия будет благодарна за все замечания и пожелания, которые следует направлять по адресу: Москва К-12, Старопанский пер., 1/5. Институт истории естествознания и техники АН СССР, сектор истории геолого-географических наук.

Редколлегия

ВВЕДЕНИЕ

*

Современная геология — это крупный раздел знаний, охватывающий значительное число отдельных наук, каждая из которых имеет собственный объект изучения и пользуется различными методами исследования.

Первые истоки геологических знаний, возникшие на заре человечества, уже содержали элементы верных представлений о некоторых свойствах природных камней и об отдельных процессах, преобразующих лик Земли.

Постепенно выделились два крупных направления геологии, развивавшиеся *в тесной взаимозависимости — прикладное и теоретическое.*

В середине XVIII в. были заложены основы подлинно научной геологии, развитие которой шло дальше чрезвычайно быстрыми темпами и сопровождалось дифференциацией крупных собирательных разделов ее на более конкретные частные отрасли и наоборот, созданием новых научных направлений в результате синтеза различных областей.

Изучение сложного процесса формирования и развития всего комплекса современных геологических наук является той задачей, которая стоит перед историей геологических знаний. Последняя отрасль, относящаяся к группе геологических наук, в то же время имеет особые специфические черты, поскольку предметом ее исследований являются не каменные материалы или природные процессы, а научные идеи, теоретические представления и практические результаты, полученные во всех других отраслях геологии.

Анализ истории геологических знаний дает возможность проследить общее направление развития естественнонаучной мысли и влияние мировоззренческих представлений и библейских догм, с одной стороны, научных открытий и фундаментальных теорий — с другой. Геология более, чем любая другая наука, связана как со всеми остальными отраслями естествознания так и с непосредственной производственной деятельностью человека. Эти обстоятельства делают задачи историков геологии особенно сложными.

Изучение истории геологии позволяет наметить особенности, которые *были присущи геологическим наукам и процессу их развития в прошлом,* выявить характерные черты прогресса и упадка отдельных геологических идей и гипотез, установить периодизацию истории геологии в общем и отдельных ее отраслей в частности. Историческое исследование позволяет избежать

повторения ошибок, допущенных в прошлом и избавить от дублирования ранее проведенных исследований, результаты которых оказались забытыми. Изучение прошлого необходимо для верной оценки настоящего и для прогнозирования дальнейших путей развития геологических наук. На данное обстоятельство не раз указывали многие выдающиеся геологи. «Научное издание прошлого, в том числе и научной мысли, всегда приводит к введению в геологическое сознание нового» (Вернадский, 1927, стр. 17). «Чтобы не было забыто ценное наследие прошлого, необходимо в известные моменты останавливаться, оглядываться на пройденный путь, чтобы лучше оценить современное состояние наших знаний и направление предстоящего пути» (Левинсон-Лессинг, 1936, стр. 5).

Формирующаяся в наши дни новая отрасль знаний — наука о науке, или науковедение — ставит перед исследованиями в области истории науки задачу глубокого и всестороннего анализа различных сторон хода развития знаний и выявления специфических закономерностей, присущих этому процессу.

Перед авторами, приступающими к написанию работы по истории науки, встает сложная проблема ее периодизации. Развитие геологии, как всякой другой науки, происходит неравномерно и зависит от многих причин. На развитие теоретической геологии большое влияние имеют космогонические воззрения. Представления о происхождении и догеологической стадии развития Земли определяли, естественно, и представления о ее дальнейшем развитии, современном состоянии и характере геологических процессов. В области теоретической геологии на разных этапах накопления знаний возникали различные, сменявшие друг друга идеи, которые становились господствующими для каждого данного этапа; при этом нередко сохранялись и прежние, ранее существовавшие представления, появлялись новые, получавшие господствующее значение в дальнейшем. Геологические исследования подкреплялись теоретическими положениями и в то же время давали материал для их обоснования. Развитие как теоретической, так и прикладной геологии тесно связано с новыми открытиями и уровнем знаний в области смежных наук. Вместе с тем геология, особенно в ее прикладном аспекте, пожалуй, более, чем любая другая отрасль знания, связана с экономикой. Поэтому каждый новый шаг в прогрессе геологической мысли в той или иной степени отражает смену социально-экономических формаций. Всем этим комплексом причин определяется состояние геологии, направленность ее развития и доминирующее значение той или иной ее отрасли в определенном периоде.

Таким образом, периодизация истории науки является функцией целого комплекса обстоятельств и в первую очередь результатом неравномерного развития знаний.

Следовательно, периодизация — объективно существующая реальность, и перед историком науки лишь стоит задача ее выявления, используя для этой цели различные аналитические приемы.

Решая указанную задачу, мы исходим из положения, что каждый период в истории развития науки характеризуется теоретической идеей, исследовательским методом или научным открытием, которые были важнейшими факторами, обусловливавшими прогресс науки на данном отрезке времени (Тихомиров, 1966, 1970).

Периодизация, принятая в настоящей книге, основывается на только что приведенных положениях, причем выделенные крупные этапы истории геологических знаний одновременно охарактеризованы и присущим для них развитием представлений о строении Земли, поскольку эти представления охватывают весьма широкий круг проблем из различных отраслей геологической науки.

Монография состоит из четырех глав, соответствующих крупным периодам в истории геологии.

В первой главе «Первоначальное накопление геологических знаний и ранние представления о строении Земли» (с древности до середины XVIII в.)» показаны представления о строении Земли, созданные на наблюдениях окружающей природы, и эмпирические познания о минералах, вулканах, землетрясениях, рудах, характере залегания слоев и т. п.

В начале этого периода развитие техники стояло еще на ранней ступени ручного труда, и лишь в середине XVIII в. стало развиваться машинное производство. Этот период включает четыре социально-экономические формации: первобытнообщинную, рабовладельческую, феодальную и начало капиталистического способа производства. Общие представления картины мира проходят наивно-диалектический и метафизический этапы. С этими условиями было связано и развитие знаний о Земле: первые наивные представления о ее строении; изучение минералов и драгоценных камней, положившее начало развитию минералогии в периоды рабовладельческого и феодального строя; схоластический характер науки в период средневековья; необходимость поисков и добычи руд в эпоху Возрождения и накопление знаний о ее поверхности; позднее развитие механики и установление статической картины мира, отсюда — представление о пассивном центральном огне внутри Земли и о неизменяемости земной поверхности.

Во второй главе освещается становление научной геологии (вторая половина XVIII в.). Для этого периода характерно проведение широких региональных геолого-географических исследований, позволивших собрать огромный, ранее неизвестный фактический материал из разных областей естествознания. Новые наблюдения показали необходимость пересмотра многих прежних воззрений и в особенности дали основания подставить под сомнение традиционную точку зрения о постоянстве окружающей природы, поскольку многочисленные примеры свидетельствуют о непрерывно происходящих в ней переменах. Идея развития, которая была сформулирована в трудах ряда выдающихся естествоиспытателей того времени, стала ведущей теоретической основой, обеспечившей прогресс геологической мысли во второй половине XVIII в. Исследовательским методом, способствовавшим в эти годы быстрому накоплению новых фактов был, как это показано выше, метод мелкомасштабного изучения крупных территорий.

Во второй половине XVIII в. вступают в острый конфликт концепции нептунизма и плутонизма. Для этого времени характерны также попытки создания всеобъемлющих «теорий Земли». Установление капиталистического способа производства в ряде стран получило отражение в прикладном аспекте геологии — в интенсивном, нередко хищническом использовании минеральных богатств. Вместе с тем развивались отдельные отрасли геологии.

Третья глава характеризует развитие геологической науки в течение XIX столетия.

Этот период с достаточной отчетливостью подразделяется на две части, *отличающиеся разными основополагающими факторами.*

Первый подпериод, охватывающий примерно отрезок времени в пять-шесть десятилетий, известен в истории геологии под названием «героического периода». В эти годы оформилось большинство основных отраслей и направлений в современной геологической науке. В теоретической геологии этого *времени возникло и развилось несколько подчас антагонистических* учений: нептунизм и вулканизм, катастрофизм и униформизм, трансформизм и креационизм.

Каждое из этих учений, преобладавшее на том или ином отрезке времени, по-своему интерпретировало имеющийся фактический материал и наклады-

вало специфический отпечаток на научные представления и гипотезы, выдвигавшиеся в те годы. Но не все эти учения имели одинаковые значения для развития геологических наук. Важнейшим явилось униформистское учение, в те годы бесспорно прогрессивное; оно в той или иной степени проникло почти во все отрасли геологии и благодаря углубленной разработке актуалистического метода открыло возможность научного разрешения многих сложных загадочных страниц истории Земли. Другим фактором, обеспечившим прогресс геологии в первой половине XIX в., было создание в самом начале века биостратиграфии, опиравшейся на палеонтологический метод.

Второй подпериод истории геологии XIX в., обнимавший вторую его половину, ознаменовался появлением учения Ч. Дарвина и внедрением эволюционистских идей в различные отрасли науки о Земле. Возникли палеогеография, историческая геология, генетическая минералогия, эволюционная палеонтология и другие направления, укрепившие положение геологии как науки исторической.

Другим существенным фактором, обеспечившим прогресс геологической науки, главным образом ее минералого-петрографического раздела, было создание и усовершенствование микроскопического метода. Внедрение этого метода обеспечило быстрое развитие знаний о вещественном составе природных камней и способствовало становлению новых теоретических положений в петрологии, минералогии и геохимии.

В области представлений о внутреннем строении нашей планеты в течение всего XIX столетия существовала единая теоретическая концепция об огненном ядре, покрытом тонкой земной корой.

Для всего столетия характерно также исследование геологических процессов и детализация знаний, в отличие от «теорий Земли» предыдущего периода.

Развитие геологии было тесно связано с общим развитием науки. В естествознании XIX в. наметился значительный прогресс по сравнению с XVIII в. «...естествознание благодаря выявлению существующих в самой природе связей между различными областями исследования (механикой, физикой, химией, биологией и т. д.) превратилось из эмпирической науки в теоретическую, становясь при обобщении полученных результатов системой материалистического познания природы» (Энгельс, 1955, стр. 154—155).

Четвертая глава посвящена развитию геологии в первой половине XX в. Ведущим учением этого периода явилась теория геосинклиналей, которая пронизала все отрасли геологической науки. Все большее место по праву стало отводиться недавно возникшим новым областям знаний — геохимии и геофизике. Сформировались новые отрасли в результате соединений нескольких нередко удаленных наук — биогеохимия, радиогеология и т. п. Утвердились представления об оболочечном строении Земли, игравшие важную роль в разработке сложных проблем общегеологического характера.

Традиционные геологические методы, разработанные ранее, в XVIII и XIX вв., продолжали совершенствоваться. Особо ведущее положение занял метод палеогеографического анализа, в том числе фаций и мощностей, который позволил реконструировать особенности развития как геосинклинальных, так и платформенных областей. Наряду с этим в геологию все глубже стали проникать методы так называемых точных наук — физики, химии и математики. Широкое использование их способствовало конкретизации и уточнению многих геологических данных и установлению количественных характеристик в минералогии, петрографии, стратиграфии и в других отраслях геологических знаний. Тем самым сама геология приблизилась к категории точных наук, хотя, разумеется, она целиком войти в их число не может, так как является наукой исторической.

Развитие геологии проходило на фоне крупнейших общественно-политических событий, имевших место в первой половине XX в. Первая и вторая мировые войны способствовали большей направленности геологических исследований: изучению месторождений полезных ископаемых, необходимых для военных нужд, развитию геологии каустобиолитов, особенно нефти и газа.

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла новую эру в развитии науки. Объем геологических исследований в нашей стране, в связи с развернувшимся социалистическим строительством, колоссально вырос, и быстрыми темпами стали развиваться все отрасли геологической науки. Наличие на огромной территории Советского Союза самых различных геотектонических зон дало в руки советских геологов разнообразнейший фактический материал. Проводимое в СССР всемерное поощрение научных исследований создало необходимые условия, обеспечивающие прогресс теоретической мысли. Советская геология по праву заняла ведущее положение в мировой науке, и общее признание этого факта выражается в том, что многие труды советских геологов переводятся и публикуются за границей.

Заключительный раздел книги кратко характеризует современное состояние геологии, вступившей со второй половины XX в. в новую стадию своего развития в период научно-технической революции, охватившей все естественные и технические науки. Новейшие исследовательские методы, разработанные в физике и химии, и электронные приборы, созданные в результате фундаментальных открытий в естествознании, стали мощным орудием геологов в вопросах познания как тончайшего состава и структуры природных веществ, так и строения глубоких недр нашей планеты. Использование новых методов позволило открыть совершенно неизвестные ранее факты, поставившие перед учеными вопрос о необходимости разработки новых, подчас принципиально иных чем прежде теоретических положений.

Искусственные спутники Земли и изучение других планет Солнечной системы дали геологу возможность не только по-новому взглянуть на свой исконный объект изучения — нашу Землю, но и перейти к исследованиям других небесных тел, что предопределило становление планетологии.

Творческая мысль геологов перестала ограничиваться одними только вопросами, связанными с поверхностью нашей планеты, или одной только земной корой и стремиться ныне к установлению взаимозависимости процессов, происходящих в ядре, мантии и коре не только между собой, но и с явлениями, наблюдающимися в окружающем космосе.

Геология — наука о Земле. Для изучения нашей планеты необходимо объединение ученых всех стран. Совместные научные исследования должны служить делу мира и прогресса. Но для успешных теоретических и практических исследований, прогнозов дальнейшего развития геологической науки необходимо знать ее прошлое, ее историю. Этому посвящена наша коллективная книга.

1

ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ И РАННИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

(С ДРЕВНОСТИ ДО СЕРЕДИНЫ XVIII В.)

*

В глубокой древности лежат истоки геологической науки. Тысячелетия назад люди научились находить и использовать полезные ископаемые. В процессе их поисков и обработки накапливались первые эмпирические знания о свойствах минералов и горных пород и об их поисковых признаках. Археологические раскопки показывают, что уже с палеолита применялись нефрит для изготовления каменных топоров, кремень и обсидиан для изготовления наконечников стрел и т. п. Очень ранним является использование глин для изготовления керамических изделий, а также добыча соли. Месторождения соли усиленно разыскивались и эксплуатировались. Соль, видимо, являлась одним из первых «товаров», которыми велась широкая торговля с самого ее зарождения. К глубокой древности относятся, по-видимому, и первые рудники, так называемые чудские копи, остатки которых находят на Урале, в Сибири, Средней Азии и других местах. К бронзовому веку относят рудники, в которых добывались медные, оловянные и серебро-свинцовые руды (Казахстан, Средняя Азия и др.), к железному веку — следы разработок озерных и болотных железных руд на терррритории Русской равнины. Практика горного дела, наряду с эмпирическим познанием природы, была основой первоначальных геологических знаний.

Древнейшая культура человека возникла за 3—4 тысячелетия до н. э. В процессе строительства городов, в практике ювелирного дела и гончарного ремесла познавались свойства различных пород и минералов. Пирамиды Египта, построенные за 2—3 тысячи лет до н. э., сооружались из гранита, песчаника и диорита. В то время уже широко применялись золото, серебро, драгоценные камни, и изделия из них украшали гробницы фараонов. Прекрасной огранки алмазы и другие драгоценные камни находят при раскопках древних городов Индии. Здания этих городов были построены из обожженного кирпича. Здесь применялись для различных целей ртуть, серебро, мышьяк, свинец, сурьма, железо, медь, квасцы, нашатырь.

На ранних этапах развития человеческой культуры возникли и первые представления об общем строении Земли. Эти представления были основаны на эмпирических наблюдениях природных условий тех небольших территорий, на которых жили отдельные народы. Наблюдения переплетались с фантастическим вымыслом. Не умея дать объяснения явлениям природы,

люди обожествляли их, населяя окружавший их мир добрыми и злыми духами.

В конце 3-го и начале 2-го тысячелетия до н. э. возникло Вавилонское царство, расположенное в нижнем течении рек Тигра и Евфрата. По представлениям вавилонян, Земля — круглая гора, полая внутри. Согласно индийской космологии того же времени, мир является плоским и разделяется на ряд концентрических кругов, которые представляют собой чередование суши и моря. По воззрениям жителей Палестины, Земля представляет собой плоскую равнину с отдельными, возвышающимися на ней горами. Это соответствовало природе Палестины — платообразной равнине. Общим для всех народов являлось представление о страшном, пугавшем их «подземном мире», расположенном под поверхностью Земли.

Легенды и верования древнего Востока оказали влияние и на мифологию древней Греции (XIII—XII в. до н. э.). Вместе с тем здесь ясно отразились и природные условия Греции, прежде всего ее высокая сейсмичность. О борьбе богов, сотрясающей Землю, упоминается во многих мифах. Например, в одном из мифов рассказывается о том, как могучий Зевс боролся со своим отцом, коварным Кроном, и призвал на помощь из недр Земли сторуких великанов — гекатонхейров. Все кругом колебалось, содрогалась даже подземная бездна — Тартар. Огонь охватил Землю, она заволоклась дымом и испарениями. Этот миф очень напоминает яркое и образное описание землетрясения. По другому преданию, Землю колеблет бог моря Посейдон, «Земли колебатель» (у римлян — Нептун).

В античный период появляются первые попытки научного осмысливания строения Земли и Вселенной. Представитель наиболее ранней материалистической школы древней Греции Фалес из Милета (начало VII — конец VI в. до н. э.) считал, что Земля представляет собой плоский диск, плавающий на поверхности воды. Но уже у его современников — философов Анаксимандра (610—546 гг. до н. э.), Анаксимена (585—524 гг. до н. э.), позднее Демокрита (460—370 гг. до н. э.) создались более сложные представления о том, что когда Земля размокает после сильных дождей, а затем высыхает, на ее поверхности образуются трещины. Эти трещины сообщаются с пустотами, имеющимися внутри Земли, по которым циркулируют воздух, вода и пламя.

Представления о подземных пустотах, несомненно, были связаны с природными условиями Греции, так как в этой области широко развит карст. Подобные мысли были связаны также с наблюдениями землетрясений и извержений вулканов — явлений, весьма характерных для побережья Средиземного моря. Постепенно эти наблюдения оформились в идею о существовании каналов и пустот под поверхностью Земли. Считалось, что огонь, движущийся по каналам, вырывается на поверхность при извержении вулканов, а вода и ветер вместе с огнем сотрясают поверхность Земли. Доказывалась и другая причина землетрясений — обрушение кровли пустот. В зависимости от того, каким из природных явлений — карстовым провалам или действию пламени — придавалось большее значение, возникли впервые идеи о главенствующей роли воды или огня в изменении рельефа Земли. Таким образом, уже в воззрениях античных ученых существовали два направления, оформившихся значительно позднее в виде учений нептунизма и плутонизма.

Идея о каналах и пустотах внутри Земли особенно ясно была выражена в трудах Аристотеля (384—322 гг. до н. э.). По его мнению, внутри шарообразной Земли находятся пустоты и поры, по ним циркулируют воздух и сухие испарения. Воздух стремится выйти наружу, но встречает препятствия или задерживается низвергающимися вниз массами воды. Тогда воздух сотрясает Землю и возникает землетрясение. Поэтому, по мнению Аристотеля, землетрясения чаще происходят в тех местностях, где есть трещины и



Аристотель

пещеры и вода может проникнуть внутрь Земли. Учение Аристотеля стало основой представлений ученых более позднего времени — периода расцвета римской культуры и даже средневековья. Идея о каналах и пустотах внутри Земли была господствующей в течение очень длительного времени.

Упомянем о воззрениях некоторых других ученых той эпохи о землетрясениях, извержениях вулканов и горообразовательных процессах, основанных на той же идее о строении Земли. Греческий ученый Страбон (63 г. до н. э. — 20 г. н. э.) писал, что вследствие землетрясений могут подниматься и опускаться отдельные участки земной поверхности; появляются новые острова, изменяется конфигурация материков. Большую роль в образовании рельефа Земли Страбон придавал и вулканическим извержениям. Так, по его мнению, о. Сицилия образовался в результате извержений Этны.

Римский ученый Тит Лукреций Кар (99—55 гг. до н. э.) считал, что Вселенная бесконечна, и в ней существует множество подобных нашему миров. Земля пронизана подземными пустотами; подземные вихри, проносящиеся по ним, вызывают землетрясения. Римский философ Сенека (3 г. до н. э.—65 г. н. э.) полагал, что напор воздуха под землей является силой, которая вызывает землетрясения, создает горы и поднимает из моря острова. О той же причине образования гор упоминал и Плиний Старший (23—79 гг. н. э.). Подробно описывая землетрясения, он отметил их периодичность и полагал, что землетрясения, как и грозы, бывают весной и осенью и чаще ночью, чем днем. Плиний говорил также о медленных колебательных движениях отдельных участков Земли — в одном месте часть поверхности опускается, в другом поднимается. Весьма интересно и красочно описание извержения Везувия в 79 г. и гибели Плиния Старшего, сделанное его племянником Плинием Младшим.

Так в эмпирических наблюдениях природы постепенно закладывались истоки геологических знаний.

Необходимо отметить и некоторые минералогические сведения античных ученых. По учению Аристотеля, в недрах Земли взаимодействуют четыре стихии, из которых состоит материальный мир: земля, воздух, огонь и вода. Они дают начало огненным и водным образованиям; из огненных — получаются камни, из водных — металлы. Аристотель составил также первую классификацию ископаемых, которые он разделил на земли, камни и руды.

Ученик Аристотеля Теофраст (372—287 гг. до н. э.) в своем трактате «О камнях» развил эту классификацию, выделив семь видов минеральных тел: 1) камни; 2) цветные камни (изумруд, сердолик, гранат, ляпис-лазурь и др.); 3) плавкие камни (металлы); 4) горючие камни; 5) негорючие камни

(гранат, алмаз, пемза); 6) драгоценные камни (алмаз, сердолик, яшма, изумруд, хризокола, янтарь и др.); 7) легкоразрезаемый камень (тальковый камень); 8) землистые минералы (минеральные краски) (Леммлейн, 1963, стр. 322).

Различные мнения существовали относительно происхождения некоторых минералов. Нередко эти мнения отражали идеи о главенствующей роли огня или воды в природе. Например, римский ученый Диодорус Сикулус (род. ок. 30 г. до н. э.) утверждал, что горный хрусталь образовался из воды, которая затвердела под влиянием «божественного огня», а Сенека считал, что горный хрусталь — это вода, затвердевшая от холода и освободившаяся от воздуха.

Зарождение науки о кристаллах тесно связано с развитием горного дела и минералогии. С незапамятных времен горнякам были известны «удивительные угловатые фигуры» кварца, пирита, граната и др. В самом начале нашей эры Плиний Старший уже описывал в своей 37-томной «Естественной истории» «четырехугольные» кристаллы золота и алмаза, «шестиугольные» образования кварца и т. д. Он догадывался о природном происхождении кристаллов и писал о том, что горный хрусталь «родится в горах», хотя и связывал ошибочно этот процесс с затвердеванием льда. Такое заблуждение было широко распространено и у греков (само слово «кристалл» происходит от греческого «кристаллос» — лед). Классификация и описание минералов в «Естественной истории» Плиния были широко известны в науке и играли заметную роль до XVIII в. Ряд современных названий минералов сохранился с того времени.

После падения Римской империи для Европы наступила тяжелая эпоха средневековья, эпоха господства богословия и схоластики. Все явления природы принято было объяснять лишь догматами священного писания. В качестве примера можно привести представления византийского географа VI в. Козьмы Индикоплова о том, что Земля представляет собой прямоугольник, а звезды на небе передвигают специально приставленные ангелы, или легенду о том, что Земля держится на трех китах (древнерусский апокриф «Беседа о трех святителях», XI в.). Однако в противоположность этим фантастическим представлениям в европейской естественнонаучной литературе средних веков встречались также и античные объяснения явлений природы, в частности представления о шарообразной Земле, пронизанной каналами и пустотами.

Такое мнение высказывал немецкий ученый XII в. Альберт фон Больштедт, названный современниками великим (Magnus) или универсальным (Doctor universalis). Он считал, что Земля имеет шарообразную форму, по ее каналам и пустотам циркулирует воздух, вода и огонь. Горы возникают или под давлением ветра в этих пустотах, или при разрушении поверхности Земли внешними агентами. При описании вулканов Больштедт прибегал к эксперименту: в раскаленные угли он вдувал пар, при этом угли и зола рассыпались.

Значительно шире развивались естественнонаучные знания в государствах Средней Азии. Ученые этих стран распространяли учение Аристотеля и создавали оригинальные труды в различных областях знания. Анонимные арабские ученые, авторы произведения «Послание братьев чистоты и друзей верности» (X в.), писали, что поверхность Земли постоянно и непрерывно изменяется — горные области становятся пустынями, области морей — горами и т. п. Авторы четко описывали также процессы выветривания, действие текучих вод и т. п. В работе крупнейшего среднеазиатского ученого Ибн-Сины (Авиценна) «Книга исцеления» большой раздел посвящен образованию гор и минералов. Образование гор и изменение рельефа Земли он объясняет двумя причинами: одной — когда ветер, проносящийся по под-

земным пустотам, поднимает часть земли, образуя, таким образом, возвышенность; другой — когда под воздействием атмосферных агентов образуется впадина, которая затем углубляется. Если почва, слагающая участок поверхности, имеет различную твердость, то часть ее образует впадину, а другая останется в виде возвышенности.

Ибн-Сина предположил, что обитаемая в настоящее время суша была раньше морским дном — это доказывается тем, что в горах иногда находят морские раковины. Дно моря было сложено рыхлой глинистой землей, которая затвердела либо еще под водой, под действием сильного жара, либо на воздухе, при постепенном поднятии морского дна. Поднятый из моря участок поверхности расчленялся потоками, прорывавшими глубокие долины. Так, очень медленно и постепенно образовались долины и горы. По мнению Ибн-Сины, море не однажды наступало на сушу и отступало; в результате этого появились слои, которые можно наблюдать в горах. В том же труде Ибн-Сина предложил новую для того времени классификацию минералов и горных пород, которые он разделил на четыре группы: камни, плавкие тела (металлы), горючие серные вещества и соли. Эта классификация была принята учеными Европы и просуществовала длительное время.

Ученый древнего Хорезма Бируни написал в 1048 г. трактат «Собрание сведений о познании драгоценных минералов». В этом труде описаны более ста минералов, их месторождения в Средней Азии, Китае, Индии, Цейлоне, Византии и др. (Бируни, 1963). Бируни впервые определил удельные веса 18 минералов, предложив для этого собственную методику: он взвешивал воду, вытесняемую образцом минерала [1]. Интересно отметить, что Бируни обратил внимание на минералы с жидкими включениями, считая, что они образовались из водных растворов.

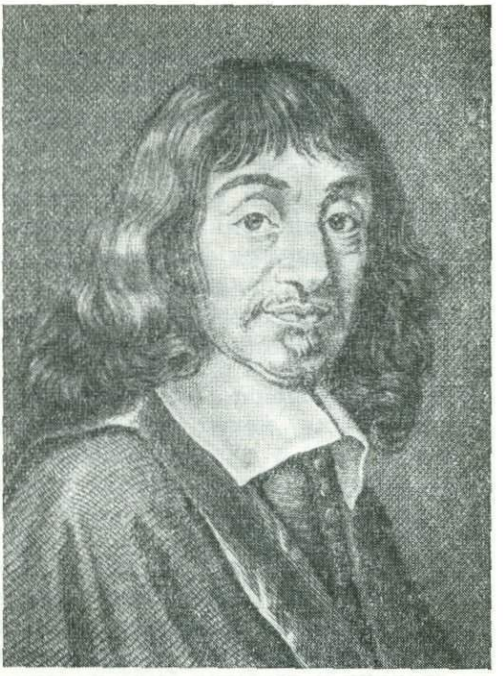
Автор сочинения «Отступание моря» азербайджанец Омар Аалем (X в.), основываясь на сравнении географических карт разных эпох, указал на уменьшение площади, занимаемой морем. В Армении также развивалась античная натурфилософия — учение о четырех первоэлементах, вечности материи, эллипсоидальности или шарообразности Земли. Назовем Анания Ширакаци (VII в.) и Иоанна Ерзинкаци Плуза (XIII в.).

После средневекового застоя науки в Европе в XV—XVI вв. наступила эпоха Возрождения — начало разложения феодального строя и зарождения капиталистического способа производства. В эту эпоху расцвета науки, искусства и культуры появились такие гиганты научной мысли, как Н. Коперник, Г. Галилей, Леонардо да Винчи и др. Постепенно устанавливалось подлинное строение Вселенной; в создаваемой учеными картине мира все меньше оставалось места для «божественной воли». Астрономические знания давали сведения о форме и размерах Земли, великие географические открытия — путешествия Колумба, Васко да Гама, Магеллана и других — способствовали накоплению сведений о ее поверхности. В связи с развитием техники и ростом городов расширялись поиски и добыча руд и строительных материалов. В процессе поисков и разработок месторождений накапливались знания по минералогии и горному делу, а также сведения о горных породах и характере залегания слоев. Обобщение этих знаний приводило в ряде случаев к важным теоретическим выводам.

Так, Леонардо да Винчи, производя геологические наблюдения в процессе работ по сооружению каналов в Северной Италии, заметил в разрезах стенок каналов смену напластований и сделал вывод, что горные породы располагаются слоями, иногда горизонтальными, иногда в виде складок, что хорошо видно, например, в обрывах в горах. Леонардо да Винчи (Leonardo

[1] В Европе определение удельных весов минералов было сделано лишь в XVIII в.

da Winci, 1953) пытался объяснить образование рельефа Земли. Суша, по его мнению, поднялась из океана и имела первоначально плоскую поверхность. Но как на этой плоской поверхности возникли горы и долины? В то время, когда суша поднялась из моря, с нее стекала вода. Образовались ручьи, которые прорыли большие водоемы. Ручьи все увеличивались, воды их все больше вздувались до тех пор, пока с верхних частей суши не стекла вся вода. Ручьи, превратившиеся в реки, настолько углубили свое ложе, что берега их стали крутыми. Реки же переносили и отлагали ил и песок. Когда стекла вся вода, обрывистые берега рек стали горами, представляющими собой лишь останцы прежней поверхности. Отложения рек располагались в виде слоев, мощность которых зависела от крупности переносимого реками материала.



Р. Декарт

Исходя из своих представлений об образовании земных слоев, Леонардо да Винчи высказал правильные суждения о морских ископаемых раковинах, которые большинство его современников склонны были считать игрой природы. Он полагал, что раковины животных, живших в море неподалеку от берега, постепенно покрывались илом, который приносили реки в море. Под тяжестью ила раковины опустились вниз, и животные погибли, потеряв привычную для них среду. С течением времени ил, окружавший и заполнявший раковины, постепенно превратился в камень. Таким образом получились окаменевшие раковины.

Известно огромное значение сочинений немецкого ученого Георга Агриколы (Георг Бауэр) в области металлургии и горного дела. Эти труды являются обобщением всего многовекового опыта горняков Западной Европы. Агрикола описал горные выработки, рудники, штольни, шахты, способы их проходки и т. д. Впервые он отметил разницу между минералами и горными породами. Приведенные Агриколой описания внешних признаков минералов (цвет, прозрачность, блеск, вкус, запах, твердость, шероховатость и др.) стали использоваться для определения минералов.

Образование минералов и руд, по мнению Агриколы, происходило путем выпадения осадков из подземных растворов, циркулирующих по трещинам в горных породах. Пластовые залежи, штоки и оруденелые участки образовались из растворов под воздействием тепла и холода. Эти мысли приближаются к современным представлениям о гидротермальном происхождении руд. Некоторые названия горных пород и минералов, заимствованные Агриколой у горняков, такие, как гнейс, висмут, кварц, сланец, колчедан, шпат и т. п., сохранились до наших дней. Он классифицировал «ископаемые тела» по их внешнему виду, различая «плоские», «круглые», «угловатые» и другие формы. Среди «угловатых тел», т. е. кристаллов, он, так же как и Плиний, выделял

«треугольные», «четырехугольные» и прочие «многоугольные» фигуры. Как видим, эти словесные характеристики уже содержат слабые намеки на геометрию кристаллических форм, хотя и ограничиваются только их сравнением с плоскими, а не пространственными фигурами.

Из опыта горняков было известно о повышении температуры при опускании в глубокие шахты. Агрикола заинтересовался происхождением подземного огня, который, как он думал, вызывает этот нагрев и вырывается наружу при извержении вулканов. Агрикола, как и ученые классической древности, считал, что внутри Земли находятся каналы и пустоты. Напор водяных масс или ветра, заключенных в этих пустотах, вызывает образование холмов и гор. Действие воды и ветра на поверхность Земли также может способствовать образованию ее неровностей: текучие воды прорывают глубокие долины, а ветер выдувает и разносит песок. Подземный огонь, по мнению Агриколы, не только не принимает участия в горообразовании, но наоборот, вызывая землетрясения, может способствовать разрушению гор.

Обширные и разнообразные сведения о минералах, горных породах, рудах и поисковых признаках месторождений были получены русскими рудознатцами и рудоискателями в XVI—XVII вв. Они искали и открывали месторождения железных, медных и серебряных руд, солей и драгоценных камней на Урале, в Сибири, на побережье Белого моря. В одной из вотчин основанного в XVI в. Соловецкого монастыря было обнаружено месторождение белой слюды, пластины которой вставлялись в оконные рамы городских домов. В середине XVI в. слюда уже в значительных количествах вывозилась за границу и известна была на мировом рынке под названием московского стекла —«московита». Поиски месторождений руд нередко организовывались правительством. В XVII в. поисковые, или «рудоносные», партии направлялись «Сибирским приказом» и «Приказом тайных дел». Рудоискательство становилось профессией. В XVII в. и особенно в начале XVIII в. повсеместно стали быстро развиваться горные промыслы. Были открыты многие месторождения различных полезных ископаемых и осуществлены мероприятия в области горного законодательства. Так, например, в России во времена Петра I поисками и разработками месторождений ведали специальные учреждения: с 1700 г.— Приказ рудокопных дел, с 1718 г. Берг-коллегия. За находку руд выдавались грамоты и привилегии. Новые месторождения меди были открыты на Урале, самоцветы — в Забайкалье. В 1721 г. рудознатец Григорий Капустин обнаружил месторождение каменного угля на юге России (Донбасс). Обширные познания о поисковых признаках месторождений различных полезных ископаемых, характере залегания руд, свойствах минералов и горных пород подготавливали создание геологической науки.

Наряду с практическими сведениями развивались также теоретические представления об общем строении Земли и образовании ее рельефа. В середине XVII в. развитие астрономии позволило приблизиться к представлениям о том, что Земля по своей природе не отличается от Солнца и была раньше также огненным шаром. Отсюда, по-видимому, возникло и представление о существовании в центре Земли остаточного подземного огня, который, однако, не оказывает никакого воздействия на ее поверхность. Образование рельефа Земли приписывалось обрушению отдельных участков Земли в подземные пустоты, находящиеся неглубоко под поверхностью. Причиной вулканизма и землетрясений считалось возгорание «горючих веществ», залегающих также на небольшой глубине.

К 1600 г. относится первое вполне научное эмпирическое обобщение в области наук о Земле — сводка В. Гильберта по земному магнетизму. В ней Земля рассматривается как гигантский магнит.

В XVII в. важное значение для развития естествознания имели представители новой, буржуазной философии — Ф. Бэкон и Р. Декарт. Бэкон — «...родоначальник английского материализма и всей современной экспериментирующей науки...» (Маркс, Энгельс. Соч., т. 2, стр. 142),— не имел прямого отношения к геологии. Но его утверждение о том, что логика изучает не только взаимоотношение понятий, но и вещей — одно из положений материалистической диалектики.

Большое конкретное значение для геологии имели взгляды на происхождение и развитие Земли Р. Декарта и Г. Лейбница.

По мнению Декарта (его работа «Начала философии» написана в 1644 г.), Солнце и звезды состоят из текучего вещества, соответствующего пламени. Земля также была сначала огненным телом, затем на ее поверхности при охлаждении скопились частицы плотной материи и постепенно образовалось несколько оболочек. Внутри Земли находится огненное ядро, окруженное внутренней плотной оболочкой, затем оболочкой, в которой образуются металлы, и, наконец, поверхностной оболочкой, состоящей из камней, глины и песка и частично скрытой под водой. Под влиянием внутреннего тепла Земли материал из подкоровой оболочки выносится в земную кору в виде эксгаляции и откладывается в трещинах, образуя рудные жилы. Эти представления Декарта близки к современным воззрениям.

Рельеф Земли, по Декарту, образуется в результате обрушения при высыхании отдельных участков верхней оболочки в находящуюся под ней воду (рис. 1).

Большое влияние на естествознание оказали «законы Ньютона», открытые им в 1680 г. Это эмпирическое обобщение, подготовленное, впрочем, всем развитием науки, провозгласило единство и всеобщность законов природы. «Я не строю гипотез» — это выражение Ньютона стало лозунгом новой эмпирической науки. В геологии Ньютону принадлежит идея о некогда расплавленном состоянии Земли; он обосновывал это современной формой Земли.

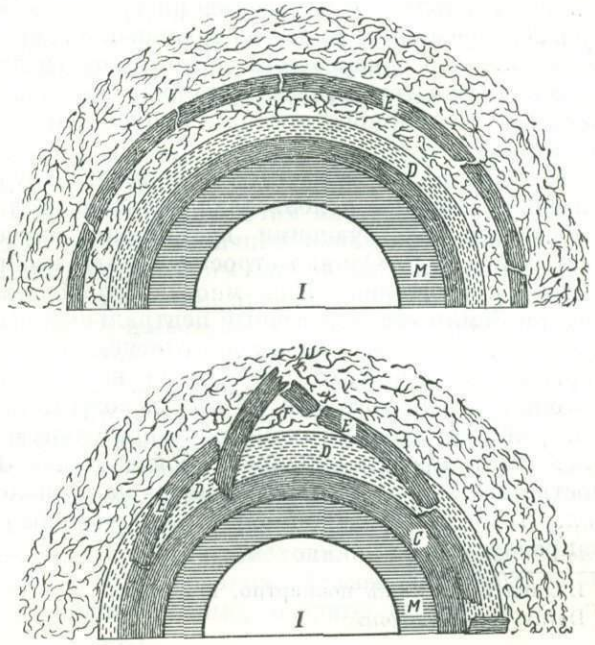


Рис. 1. Строение Земли и образование гор, по представлениям Р. Декарта

I — огненное ядро;
M — *оболочка из вещества, соответствующего солнечным пятнам;*
C — оболочка, в которой образуются металлы
D — водная оболочка;
E — поверхностная оболочка (*земная кора*);
V — воздух;
F — подземная полость, наполненная воздухом

Большая роль подземному огню отводилась в работах Г. Лейбница, относящихся к 1693 г. (Протогея) [1] и 1710 г. (Теодицея). Он также считал, что Земля была раньше огненным, расплавленным шаром. Затем на ее поверхности выделились шлаки, они образовали твердую кору, под которой находился огненный расплав. Пары воды, окружавшие Землю, сгустились, вода разлилась по поверхности и впитала в себя соль, которая оставалась в пепле. Так образовался соленый океан. Под тонкой земной корой находились огромные пустоты, в которые местами обрушилась кора, образовав нагромождение обломков. Потоки и наводнения заливали эти обломки, и в углублениях отложились осадки, которые потом отвердели. Такие «перевороты» происходили несколько раз, и когда они прекратились, поверхность Земли приобрела современный вид. Таким образом, горные породы, по Лейбницу, образовались двояким путем: в виде шлаков, выделившихся из расплава, и как осадки из морской воды.

В работах Г. Лейбница были заложены основы идей, развитых значительно позднее: об общем строении Земли, как огненного шара, прикрытого тонкой корой, и о происхождении осадочных и изверженных горных пород.

Можно также упомянуть о воззрениях современника Г. Лейбница, английского ученого Р. Гука (Hooke, 1705), который придавал исключительное значение землетрясениям в образовании рельефа Земли. По его мнению, землетрясения производят поднятия и опускания крупных участков суши, поэтому бо́льшая часть земной поверхности после ее создания изменилась: дно морское стало сушей, а суша — морем, горы стали долинами, а долины — горами. Холмы и горы могут возникать под действием подземных огненных взрывов, которые приходят с очень большой глубины. Таким образом, в отличие от своих предшественников, Р. Гук связывал образование рельефа Земли с ее внутренней энергией. Идеи Р. Гука — это, по существу, развитие мыслей Декарта, как и близкого к нему английского ученого Д. Рея.

В XVII в. в науке о Земле вновь проявились два течения, так отчетливо обозначившиеся еще в античное время о преимущественной роли огня или воды в образовании рельефа Земли. Следует отметить, что эти воззрения относились только к изменению поверхности Земли, и в некоторых случаях ученые, предполагавшие центральный огонь внутри Земли, считали в то же время, что в изменении ее поверхности главную роль играет вода.

В большинстве случаев считалось, что скопления воды на Земле являются остатком «всемирного потопа». Это направление получило название дилювианизма [2].

Именно такие мысли были выражены в трудах немецкого ученого иезуита Кирхера, который использовал большой геологический материал — наблюдения над действующими вулканами, изучение ископаемых животных, растений и т. п. Однако строение Земли и образование гор он представлял весьма примитивно. Как многие его современники, Кирхер считал, что внутри Земли имеется вечный центральный огонь, а ближе к поверхности — каналы и пустоты, заполненные огнем, воздухом и водой. В вопросах же образования гор Кирхер исходил из библейского учения о «всемирном потопе». После того как схлынули воды потопа, остался «первичный ил», в который бог вдохнул «камнеобразовательную силу». Ил отвердел, и получились горы, представляющие собой «костяк» Земли. Некоторую оригинальность имеют лишь взгляды Кирхера на расположение горных цепей; он полагал, что цепи гор закономерно расположены в меридиональном и широтном направлениях.

[1] Издана была лишь посмертно, в 1749 г.

[2] Deluvium — «потоп».

Необходимо особо подчеркнуть роль в развитии геологической мысли труда Н. Стенона. Датчанин по национальности, он долгое время жил в Италии; на основе геологических наблюдений в Тоскане Стенон задумал большой труд по геологии. Введение к этому труду было опубликовано в 1669 г. во Флоренции под названием «De solido intra solidum naturaliter contento» (Стенон, 1957). Эта работа содержит важные обобщения в области тектоники и стратиграфии, а также представление о последовательном развитии структуры поверхности Земли. Опираясь на наблюдения и некоторые теоретические соображения, Стенон писал:



Н. Стенон

«1. Во время образования какого-либо слоя под ним находилось другое тело, которое препятствовало опусканию порошкообразного вещества; следовательно, при образовании самого нижнего слоя под ним находилось другое твердое тело или даже жидкость, отличающаяся по своей природе от верхней жидкости, и веса, большего, чем вес осадка той же верхней жидкости.

2. Во время образования одного из верхних слоев нижний слой уже приобрел твердую консистенцию.

3. Во время образования какого-нибудь слоя он был ограничен сбоку другим твердым телом или же покрывал весь земной шар...

4. Во время образования какого-либо слоя лежащее наверху его вещество было целиком жидким, и, следовательно, при образовании самого нижнего слоя ни одного из верхних слоев еще не существовало» (Стенон, 1957, стр. 30—31).

В этих «законах Стенона» четко сформулирован основной принцип стратиграфии, согласно которому каждый нижележащий пласт должен быть древнее его покрывающего. Интерпретируя в этом плане свои наблюдения, Стенон пытался восстановить историю «различных изменений, происшедших в Тоскане». В геологической истории Тосканы Стенон выделил шесть периодов. В первый образовались горизонтальные, преимущественно «каменистые» слои, лишенные остатков растений и животных. Эти слои слагают в настоящее время центральную цепь Апеннин. Во второй период в горизонтальных слоях образовались пещеры, в которые в течение третьего периода обрушились вышележащие породы, в результате чего на земной поверхности образовались долины и горы. В четвертый период в понижения земной поверхности вторглось море и отложило вторую серию слоев, преимущественно песчаных, рыхлых, с многочисленными остатками животных и растений. Эти отложения известны в настоящее время под названием субапеннинских. В пятый период снова, теперь уже в новых рыхлых слоях, происходило образование пещер. В шестой период наступала новая фаза обвалов, образование новых долин, в которых откладывались новейшие речные, озерные и другие осадки.

Таким образом, можно сказать, что в стратиграфическом разрезе Тосканы Стенон различал три комплекса слоев —«каменистые» слои Апеннинских гор, «песчаные» слои Субапеннинских холмов и новейшие слои современных долин, отвечающие трем эпохам осадконакопления, разделенным эпохами тектонических движений и размыва.

Стенон утверждал, что «индуктивно доказано для Тосканы, на основании данных, полученных при посещении многих мест», то может быть распространено и на всю Землю, «исходя из описаний различных местностей у разных авторов» (там же, стр. 68).

Исключительной заслугой Стенона надо считать также то, что он представлял себе Землю в непрерывном развитии; поверхность ее изменяли землетрясения и извержения вулканов, деятельность вод и т. п. В вопросах горообразования Стенона можно считать дилювианистом, так как основную роль в образовании рельефа Земли он отводил действию вод, «всемирному потопу».

Идеи и метод Стенона — последователя Декарта намного опередили общий уровень развития естественных наук его времени и поэтому далеко не сразу нашли отклик в работах других исследователей. Прошло почти сто лет, прежде чем они получили дальнейшее развитие.

В работе Стенона отсутствуют конкретные стратиграфические данные. Но в ней даны принцип и метод историко-геологических построений и общие результаты историко-геологического анализа известных Стенону фактов. Других работ подобного, принципиального характера в течение рассматриваемого периода не было. Но сами «слои», как таковые, начинали уже привлекать в это время внимание отдельных исследователей, главным образом, по-видимому, английских, столкнувшихся с ними при изучении месторождений каменного угля. Соответствующие исследования не шли, однако, дальше простой фиксации наблюдений. Из исследований подобного типа обращает на себя внимание работа англичанина Д. Стрэчи (Strachy, 1725), который описал последовательность угленосных и кроющих их мезозойских слоев в юго-западной части Англии, отметив наклонное положение угленосных пластов и горизонтальное залегание вышележащих отложений (рис. 2).

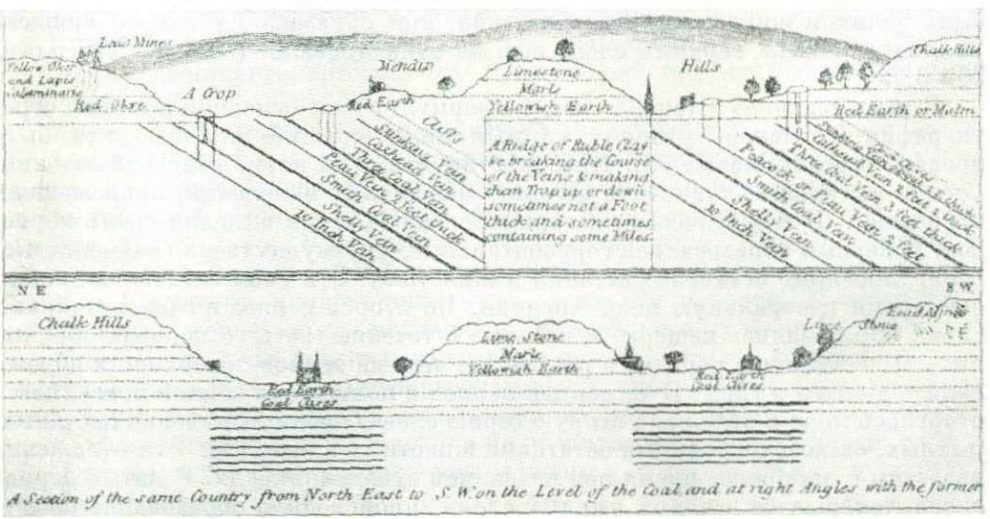


Рис. 2. Профиль участка каменноугольного бассейна в районе Бристоль — Сомерсетшир (Strachy, 1725)

Большой заслугой Стенона считается открытие первого закона кристаллографии — закона постоянства углов. Закон был им показан лишь на частном примере кристаллов горного хрусталя, причем указание на постоянство углов содержится не в тексте, а в объяснениях к рисункам, приложенным в конце книги.

Позднее ряд исследователей заново открывает закон постоянства углов, сперва на частных примерах отдельных минералов (Х. Гюйгенс — для кальцита, А. Левенгук — для гипса), а затем и в обобщенном виде (М. В. Ломоносов, Ж. Б. Роме де Лиль).

Одинокой и преждевременной оказалась замечательная попытка гениального И. Кеплера в 1619 г. объяснить шестиугольные формы снежинок геометрией плотнейших шаровых упаковок. Именно по этому пути пошли впоследствии М. В. Ломоносов и Р. Гук. В наше время, как известно, понятие о плотнейших шаровых упаковках легло в основу структурной кристаллографии.

В 1669 г. соотечественник Н. Стенова Э. Бартолин сообщил о своих открытиях, заложивших основу физической кристаллографии. Им впервые было обнаружено явление двойного лучепреломления в исландском шпате. Попутно он обратил внимание и на ромбоэдрическую спайность кальцита. Оба эти открытия оказали огромное влияние на дальнейшее развитие кристаллографии.

К этому же времени относится ряд гипотез о внутреннем строении кристаллов. Старший современник и соперник И. Ньютона — английский физик Р. Гук в своей «Микрографии» в 1667 г. развивает мысль о сложении кристаллов из шарообразных частиц. К такому выводу он пришел, рассматривая под микроскопом мельчайшие осколки алмаза с треугольными и шестиугольными очертаниями. В «Трактате о свете» Х. Гюйгенса спайность по ромбоэдру и оптические особенности исландского шпата объясняются с помощью гипотезы, по которой кристаллы кальцита построены из мельчайших сплющенных эллипсоидов вращения. В работе И. Ньютона «Оптика» была четко сформулирована идея кристаллической решетки.

Вернемся, однако, к идеям о строении Земли. Представления о существовании огненного ядра, наряду с преимущественной ролью воды в образовании рельефа Земли, содержались также в работах Т. Бернета, В. Уайстона, В. Мелле и др.

По мнению Т. Бернета, Земля состоит из огненного ядра и трех оболочек: внутренней массы, оболочки глубинных вод и наружной коры. После образования земного шара поверхность Земли, нагретая Солнцем, высохла и растрескалась, часть коры обрушилась в находящуюся под ней водную оболочку. Глубинные воды хлынули на поверхность и затопили ее. Затем вода стекла обратно, оставив моря и океаны. Обломки коры нагромоздились в беспорядке, образовав современный рельеф Земли. В пустотах, образовавшихся под обломками, скопились пары, которые временами вызывали землетрясения и вулканические извержения. Таким образом, материки и острова являются лишь остатками бывшего ранее «земляного черепа».

В. Уайстон, работы которого относятся к первой половине XVIII в., считал, что в ядре Земли сохраняется пламя кометы, из которой она образовалась. При столкновении с другой кометой получился всемирный потоп, воды которого создали современный рельеф Земли.

В. Мелле в начале XVIII в. считал, что каждая планета, в том числе Земля, подобна потухшему Солнцу. Суша обнажилась при понижении уровня океана, покрывавшего ранее Землю; горы представляют собой бывшие неровности морского дна. Лишь англичанина Д. Вудворда можно назвать вполне последовательным дилювианистом, так как он считал, что «внутрен-

ность» Земли также наполнена водой. Однажды вода прорвала кору и затопила всю поверхность Земли. Земля и камни растворились в воде, а затем стали осаждаться, образуя горизонтальные слои, которые, местами обрушившись, образовали долины и горы. Свою теорию Вудворд доказывал наблюдениями над горизонтально залегающими осадочными породами Англии.

Во многих случаях, однако, дилювианисты вообще не интересовались строением Земли, считая лишь, что воды «всемирного потопа» создали современный рельеф Земли, а окаменелые раковины являются следами потопа. Так, например, швейцарский естествоиспытатель Я. Шейхцер, обнаружив в известковых сланцах отпечаток скелета гигантской саламандры, утверждал, что это останки ребенка, погибшего во время потопа.

Наряду со сторонниками «воды» были и сторонники «огня» в образовании рельефа Земли. Однако этот огонь они не связывали с пассивным «центральным» огнем, а рассматривали как результат возгорания горючих веществ на небольшой глубине от поверхности Земли. Под действием этого подземного огня происходили землетрясения и извержения вулканов, а это, в свою очередь, способствовало образованию гор.

Итальянец А. Л. Моро (Мого, 1751) имел возможность наблюдать деятельность вулканов: появление о. Санторин в Средиземном море в 1707 г., извержения Везувия и Этны. Он считал вулканическую деятельность основной причиной изменения рельефа Земли. По его представлениям, все острова, материки и горы были подняты вулканическими силами воды, окружавшей первоначально земной шар. При этом земля, песок и расплавленные камни были извергнуты и затем осели в виде слоев, образовав вторичные горные породы. Но аббат Моро не отступал в научных воззрениях от догматов священного писания; поэтому вся история образования гор, материков и горных пород укладывалась им в библейское время — несколько тысячелетий.

С. П. Крашенинников, работавший на Камчатке с 1737 г., изучал вулканы и землетрясения, характерные для этой области. В своем труде «Описание земли Камчатки» он писал, что причиной этих явлений служит возгорание «горючих веществ», находящихся в «земных пещерах», которыми наполнена Камчатская земля. Русский ученый Г. В. Рихман опубликовал в 1739 г. статью «О достойных примечания переменах, которым поверхность земли подвержена бывает». Одной из причин этих перемен Рихман считал землетрясения. Они происходят, в свою очередь, под действием подземного огня — того же, который выходит из «гор, пламень испущающих», т. е. вулканов.

Можно отметить, что на протяжении длительного времени наблюдения геологических явлений приводили к представлениям об общем строении Земли от фантастических в древности до все более научных к концу рассматриваемого периода. В изучении минералов, горных пород, характера залегания слоев и т. п. были заложены истоки различных отраслей геологии, сформировавшихся значительно позднее.

* * *

Период первоначального накопления геологических знаний охватывает огромный промежуток времени — с первых тысячелетий до нашей эры до середины XVIII в. В начале периода накапливались эмпирические знания о свойствах минералов и горных пород. Таким образом, минералогия является наиболее древней геологической наукой. Объяснения причин геологических процессов были связаны с наивными представлениями о строении Земли, которые нашли отражение и в мифологии древнего мира. В античный период геологические знания были связаны с натурфилософскими представлениями. Доминирующая идея о каналах и пустотах внутри Земли,

а также высказывания о главенствующей роли огня и воды оказывали влияние на геологические представления. В эпоху средневековья— господства богословия и схоластики — взгляды античных ученых развивались в Средней Азии и некоторых странах Западной Европы. Научная революция эпохи Возрождения оказала большое влияние на развитие геологии. В это время закладывались первые представления о залегании слоев (Леонардо да Винчи). Познания о минералах и рудах были обобщены в трудах Г. Агриколы, много сведений было получено также русскими рудознатцами. Представления об общем строении Земли, основанные, однако, на метафизической картине мира, были развиты в трудах Декарта, Лейбница. Важное значение имели взгляды Н. Стенона на процессы горообразования и характер залегания слоев. В XVII в. весьма ярко проявилась борьба развитых еще в античное время течений о главной роли огня или воды в геологических процессах.

Можно утверждать, что в рассматриваемый промежуток времени были накоплены многие эмпирические данные о геологических явлениях, минералах и рудах. Однако эти сведения были еще разрозненны. Накопление их подготавливало создание геологии как науки.

2

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И СТАНОВЛЕНИЕ НАУЧНОЙ ГЕОЛОГИИ
(С СЕРЕДИНЫ XVIII ДО НАЧАЛА XIX В.)

*

ИДЕИ О РАЗВИТИИ ЗЕМЛИ

До середины XVIII в. ученые по-разному представляли себе основную действующую силу, создавшую рельеф Земли — одни считали, что это огонь, другие — вода, но в общем они большей частью сходились в следующем: созданные ранее материки, горы и долины существуют вечно, остаются в основном неизменными. Мнения отдельных ученых — Ибн-Сины, Н. Стенона, Г. Рихмана и других о более или менее длительном развитии поверхности Земли не были еще характерными для геологии на раннем этапе ее истории. В этом отношении выделяются, впрочем, идеи Р. Декарта.

В середине XVIII в. в науках о Земле и Вселенной утвердились идеи о развитии мира, его изменчивости и о длительности истории Земли. Они были связаны в первую очередь с именами Ж. Бюффона, И. Канта и М. В. Ломоносова.

В работах этих ученых в единую картину мира связывалось происхождение Земли, ее первоначальное развитие — то, что мы теперь назвали бы догеологической стадией,— и геологическая ее история. Естественно, основой геологических воззрений были космогонические представления.

Космогонические взгляды Бюффона были изложены им в 1749 г. в «Теории Земли». По мнению Бюффона, основой «стройности Вселенной» является сила тяжести. Однажды комета, приблизившись к Солнцу, столкнулась с ним, и отделила от него несколько частей, образовавших будущие планеты, которые расположились вокруг Солнца на расстоянии, обратно пропорциональном их плотности, и движутся в одну сторону и в одной плоскости. Земля затем остыла и полностью затвердела. Внутри Земли находится твердое, стекловатое вещество, выше располагается оболочка из песка, представляющая собой стеклянные «крошки»; «пена» расплавленного ранее стекла образовала оболочку из глины.

Гипотеза Канта о происхождении Земли и солнечной системы, высказанная им в 1755 г., также была основана на законе всемирного тяготения. По мнению Канта, весь мир состоит из материи. Элементарные частицы этой материи первоначально равномерно заполняли все мировое пространство. Затем под влиянием притяжения из них образовались отдельные скопления, сгущения, становившиеся центрами притяжения. Из одного такого крупного центра притяжения образовалось Солнце, вокруг него рас-

положились частицы в виде туманностей, которые начали двигаться по кругу. В круговых туманностях образовались зародыши планет, которые начали вращаться также вокруг своей оси. Солнце и планеты сначала разогрелись вследствие трения слагающих их частиц, затем начали остывать.

Космогонические взгляды названных ученых определяли и их воззрения на дальнейшее развитие Земли. По мнению Бюффона, после затвердевания Земли море первоначально покрывало всю поверхность. Приливно-отливные движения образовали на дне моря неровности и возвышенности, которые, вырастая, становились горными кряжами. Так морское дно стало изрытым и неровным, т. е. таким, как современная поверхность Земли. Но как могло морское дно превратиться в сушу? По предположению Бюффона, материки обнажились над уровнем моря с уже образованным рельефом. Но части суши могли также и опускаться. Так, например, как думал Бюффон, Европа и Америка составляли ранее единый материк; затем в середине опустилась его часть — легендарный материк Атлантида, покрывшись водами Атлантического океана. После того как материки стали сушей, могли происходить обвалы или оседания участков Земли в подземные пустоты. Путем обрушения образовались, по мнению Бюффона, ущелья в горах Кавказа и Кордильер, Гибралтарский пролив и т. п.

В 1778 г. была опубликована вторая геологическая работа Бюффона «Эпохи природы». В этой работе (Buffon, 1778) развил свои прежние представления. Историю Земли он подразделил на семь периодов: 1) когда Земля и планеты приняли свою форму; 2) когда Земля отвердела внутри и с поверхности; 3) когда воды покрыли наши континенты; 4) когда схлынули воды и начали извергаться вулканы; 5) когда слоны и другие южные животные жили на северных землях; 6) когда произошло разделение континентов; 7) период могущества человека.

Срок длительности развития Земли, по Бюффону,— 75 тысяч лет — кажется нам теперь неизмеримо малым. Однако даже этот срок казался чудовищно громадным для духовенства и библейского учения о сотворении мира, согласно которому длительность существования Земли составляла всего 6000 лет. Идеи Бюффона вызвали резкие нападки со стороны духовенства.

Представления Канта об образовании рельефа Земли были также связаны с его космогоническими воззрениями. По его мнению, после остывания Земли под ее затвердевшей корой образовались пустоты в виде пузырей, в которых концентрировались более легкие вещества, заключенные во внутренней жидкой массе, в том числе и воздух. Неровности, образованные этими вздутиями, располагались на поверхности Земли в виде горных цепей.

В истории геологической науки большим событием было появление работ М. В. Ломоносова «Слово о рождении металлов от трясения Земли» в 1757 г. и «О слоях земных» в 1763 г. Основой этих работ была идея о постоянном развитии Земли, которая вытекала из представлений Ломоносова о развитии Вселенной, об изменчивости звезд и планет. «Когда и главные, величайшие тела мира, планеты, и самые неподвижные звезды изменяются, теряются в небе, показываются вновь, то в рассуждении оных малого нашего шара земного малейшие частицы, т. е. горы (ужасные в наших глазах громады) могут ли от перемен быть свободны?» (Ломоносов, 1954, стр. 574). «Итак, напрасно многие думают, что все как видим, с начала творцом создано; будто не токмо горы, долы и воды, но и разные роды минералов произошли вместе со всем светом; и потому де не надобно исследовать причин, для чего они внутренними свойствами и положением мест разнятся.



Ж. Л. Бюффон

Таковые рассуждения весьма вредны приращению всех наук, следовательно и натуральному знанию шара Земного, а особливо искусству рудного дела, хотя оным умникам и легко быть философами, выучась наизусть три слова: бог так сотворил; и сие дая в ответ вместо всех причин» (там же, стр. 574—575).

Изменения поверхности Земли происходят, по Ломоносову, под влиянием внешних и внутренних *геологических факторов*. К внешним относится разрушительная работа текучих вод, морских волн, сильных ветров и мороза. Внутренние силы Ломоносов называет общим термином «землетрясения», подразумевая под этим и медленные поднятия и опускания суши, и поднятия гор, и собственно землетрясения. Эти силы связаны с действием подземного огня, т. е. с внутренней энергией Земли. Однако местоположение и действие этого подземного огня Ломоносов представлял несколько иначе, чем его предшественники — *это был не пассивный центральный огонь, по Декарту* и Кирхеру, и не поверхностный огонь, циркулирующий в каналах и пустотах. По Ломоносову, внутренние полости Земли, наполненные «подземным жаром», располагаются в виде отдельных участков на большой глубине. Сила подземного огня направлена снизу вверх; таким образом, рельеф Земли создается не обвалами и обрушениями, а вертикальными поднятиями. Эта очень важная мысль Ломоносова, как мы увидим дальше, была высказана позднее Д. Геттоном и получила развитие лишь в XIX в.

Необходимо отметить, что Ломоносов подчеркивал также изменение характера и интенсивности действия основных факторов, преобразующих земную поверхность на протяжении геологического времени. Так, например, он считал, что раньше в недрах Земли было больше «горючей материи», теперь ее стало меньше, следовательно, и воздействие ее становится все менее интенсивным.

Существование медленных поднятий и опусканий крупных участков Земли, при которых суша становится морем, а морское дно — сушей, Ломоносов доказывал тем, что на суше, даже на вершинах гор, нередко находятся *окаменелые морские раковины. Следовательно, все материки некогда находились* под уровнем моря.

Подробно описал Ломоносов также собственно землетрясения. Особый *интерес к этому вопросу был вызван сильнейшим Лиссабонским землетрясением* 1755 г., в связи с чем и была написана работа «О слоях земных». Ломоносов выделил четыре типа землетрясений, по степени интенсивности и по характеру колебаний Земли.

Наряду с представлениями об общем строении Земли и изменениях земной поверхности Ломоносов подробно описал осадочные горные породы, слагающие слои Земли, и высказал свои предположения о способах образования

этих пород, о происхождении горючих ископаемых, об образовании рудных жил, о постоянстве углов между гранями кристаллов определенных минералов и т. д. Таким образом, в работе Ломоносова были намечены многие отрасли геологии, которые были развиты и стали самостоятельными значительно позднее: тектоника, сейсмология, минералогия, петрография, литология, учение о рудных месторождениях и т. п.



М. В. Ломоносов

Работы М. В. Ломоносова были широко известны его современникам не только в России, но и за рубежом. Подробное изложение «Слова о рождении металлов от трясения Земли» было помещено уже в 1758 г. в журнале «Neue Zeitungen von gelehrten Sachen» (Лейпциг), а в 1759 г. в «Gottingenische Zeitungen». Сообщения об этой работе появились в том же году во французском журнале «Jornal des savants» и в английском журнале «Monthly Review». В 1761 г. она была полностью опубликована в немецком переводе в журнале «Allgemeines Magazin» (Лейпциг).

Представления о непрерывном развитии Земли от ее первоначального образования, как планеты, до настоящего времени дали новое направление для развития геологических знаний и обобщений и создания новой геологической теории. Идея развития Земли стала основой геологических представлений — это является основной отличительной особенностью развития геологии с середины XVIII в. Середину XVIII в. можно считать временем возникновения геологической науки.

Вместе с тем геология продолжала развиваться в двух направлениях: теоретическом и прикладном. Теоретическое направление опиралось на довольно обширный материал наблюдений, а также на достижения в области других наук. Так, например, в результате географических исследований была определена конфигурация материков, морей и океанов. Это дало возможность Бюффону предположить опускание Атлантиды между Европой и Америкой, образование Гибралтарского пролива и т. п. Это опускание, или обрушение, происходило под влиянием силы тяжести, механическим путем. Эти представления об образовании рельефа были, в свою очередь, связаны с преимущественным развитием механики, характерным для первой половины XVIII в. Развитие химии, в частности теории растворов, нашло отражение в гипотезе нептунизма, о чем будет сказано ниже.

Практическое, прикладное, направление в геологии было связано с поисками и добычей полезных ископаемых. Отсюда возникли и развивались такие отрасли геологии, как минералогия, учение о горных породах и рудах, носившие лишь описательный характер.

Поиски месторождений руд, необходимых для расширяющегося капиталистического производства, неизбежно приводили к региональному геоло-

гическому изучению различных стран и областей, а следовательно, к изучению различных геологических структур, состава горных пород, минералов и т. п. Таким образом, наметился переход от умозрительных, с большой долей фантазии, представлений об общем строении Земли к непосредственному геологическому изучению ее поверхности — и в этом вторая отличительная особенность развития геологии с середины XVIII в. Вместе с тем изучение отдельных участков земной поверхности давало материалы и для некоторых обобщений. Однако разобщенность исследований в различных странах и невозможность сопоставления результатов геологического изучения различных областей в некоторых случаях приводили к тому, что по строению лишь одного участка земной поверхности делались выводы об общем строении земного шара, происхождении горных пород и т. п.

Примером региональных исследований, результаты которых послужили материалом для геологических обобщений, могут служить так называемые академические экспедиции, исследовавшие территорию России в 1768—1773 гг. Эти экспедиции были организованы по замыслу М. В. Ломоносова, но уже после его смерти. Задачей их было описание территории и природных ресурсов страны. Экспедиции (всего их было пять) в течение пяти лет обследовали огромную территорию — бóльшую часть европейской территории России, частично Кавказ, Урал и даже Сибирь. В отчетах экспедиций, представленных в виде капитальных трудов, содержались многочисленные геологические сведения. И. И. Лепехин, путешествовавший по Уралу и Поволжью, наблюдал залегание слоев и пришел к выводу, что Уральские горы образовались под влиянием воздымающей силы подземного огня. Участники других экспедиций составили описания месторождений угля, нефти, различных руд, минеральных источников, а также минералов, горных пород и окаменелостей.

Самый протяженный маршрут был у экспедиции, которую возглавлял член Петербургской академии наук П. С. Паллас. Эта экспедиция обследовала Поволжье, Оренбургский край, часть Западной Сибири до Читы, Западный Саян и низовья Волги. Результаты наблюдений, среди которых имелись и геологические сведения, были изложены Палласом в капитальном труде «Путешествия по разным провинциям Российского государства». На основании результатов своих исследований, а также изучения литературных источников о строении Кавказа, Альп, Анд и других горных систем, Паллас выступил в 1777 г. на торжественном собрании Петербургской академии наук с речью, в которой изложил свою теорию строения Земли и образования гор (Pallas, 1777). Его наблюдения свидетельствовали о том, что срединная часть большинства горных систем состоит из гранита — горной породы, которая встречается также при углублении в недра Земли (колодцы, шахты и т. д.). Отсюда Паллас вывел заключение, что гранит является наиболее древней, «первозданной», породой, из которой, возможно, состоит вся внутренность Земли или ее значительная толща. Идею о центральном огне Паллас не признавал, считая более вероятным, что ядро Земли твердое и состоит из гранита или из магнетита. В этом отношении представления Палласа сближались с воззрениями Бюффона о твердом состоянии всей толщи Земли.

В горных системах, по наблюдениям Палласа, по обе стороны выходов гранита залегают обычно также «первозданные», не содержащие окаменелостей кристаллические и глинистые сланцы (продукты разрушения гранитов), затем «вторичные» образования — известняки и глины с остатками ископаемых организмов и, наконец, «третичные» рыхлые осадочные породы — продукты более поздних земных катастроф, содержащие остатки растений, стволы деревьев, кости животных и т. п. По мере удаления от

срединной части горных цепей слои залегают все более полого и на равнине становятся горизонтальными.

Представления Палласа о строении гор до некоторой степени отражали действительное строение многих горных систем. Паллас отметил и определенный порядок в расположении горных цепей: они иногда сходятся в наиболее высокой точке. В качестве примера он приводил горы Азии и Африки. Такому расположению соответствовал массив кристаллических пород в Забайкалье (названный впоследствии Э. Зюссом «древним теменем Азии»), к которому примыкают длинные горные цепи.



П. С. Паллас

Как же образовались горы и современная конфигурация земной поверхности? По мнению Палласа, первоначально всю поверхность Земли покрывал Мировой океан, среди которого возвышались лишь гранитные острова, никогда не покрывавшиеся морем. Затем, вследствие возгорания колчедана, гнезда которого залегали неглубоко в толще Земли, произошли колоссальные вулканические извержения; они подняли со дна моря острова, континенты и горные системы. Во время этих извержений открылись подземные пещеры, куда стекла вода, понизив уровень океана. При поднятии гор образовались наклоны слоев, наиболее крутые у гранитного ядра гор. Так, например, Кавказ представляет собой возвышение гранита, к которому, вследствие поднятия этого участка, причленяются слои более молодого возраста. Могут быть подняты на большую высоту и горы «второго рода», сложенные осадочными породами — таковы, например, горы близ Каспийского моря.

Катастрофические вулканические извержения, согласно Палласу, происходили не раз в истории Земли и сопровождались не только поднятиями, но и колоссальными наводнениями. Именно вследствие такого наводнения однажды воды южных морей хлынули на север. Европа и пониженные части Азии были покрыты водами потопа, которые переносили с собой кости погибших животных — так объяснял Паллас находки костей слонов (мамонтов) на Алтае.

Речь Палласа, произнесенная на собрании Академии наук, была опубликована в Петербурге на французском и немецком языках, в журналах и отдельным изданием, а в 1798 г. еще дважды в Париже. Она вошла также в оба издания французского перевода «Путешествий» Палласа. Переиздание этой работы показывает огромный интерес, который она вызвала.

Наибольшей заслугой Палласа является использование им большого фактического материала. Однако, хотя этот материал и был значительно больше, чем у его предшественников, также пытавшихся создать общую картину развития Земли (например, у Д. Вудворда, который исследовал лишь

осадочные отложения Англии; у А. Л. Моро, который наблюдал извержения вулканов у себя на родине и др.), все же общий уровень развития науки был недостаточен для создания научных представлений об истории Земли. Поэтому и возникли фантастические выводы Палласа о феерических катастрофах, наводнениях и извержениях, изменявших лик Земли.

Представления Палласа о Мировом океане, «первозданных» породах, о роли наводнений были использованы представителями нептунистического учения, а его высказывания о громадных катаклизмах оказали влияние на катастрофистов более позднего периода, в частности на Ж. Кювье.

Различные представления о роли огня и воды в общем строении и развитии Земли можно проследить почти на всем протяжении истории науки, однако на разных этапах они имели разные формы. Ученые античного периода считали причиной мироздания огонь и воду, исходя из своих философских представлений. В XVII в. действие огня и воды рассматривалось на основании данных космогонии и общих представлений о происхождении Земли.

В XVIII в. появилась все нараставшая тенденция к более детальному изучению геологических явлений, окаменелых ископаемых, последовательности слоев, вулканизма и т. п. При этом на основании изучения конкретных геологических данных внешним и внутренним силам придавалось разное значение в формировании лика Земли.

Актуализм был в XVIII в. ведущим методом познания прошлого Земли (*Бюффон, Ломоносов, Паллас и др.*). Как правило, считали, что в прошлом действовали те же силы, что и сейчас, но лишь бóльшей энергии. В этой связи следует упомянуть Р. Бошковича, который придерживался такого мнения. Но значение Бошковича в естествознании шире, это был естествоиспытатель, отрицавший существование «пустого» пространства, учивший о многообразии материальных субстанций, проникающих друг в друга. В. И. Вернадский в «Очерках геохимии» ставит его рядом с Д. Геттоном.

Преувеличенная роль, которая приписывалась выпадению осадков из морской воды, как способу образования слоев осадочных пород, стала основой гипотезы нептунизма. Научной предпосылкой этой гипотезы были достигнутые ранее успехи химии в области изучения кристаллизации и осаждения из растворов. Представления о том, что первоначально вся поверхность Земли была покрыта Мировым океаном, разделяли многие исследователи. Такого мнения придерживался действительный член Петербургской академии наук И. Г. Леман. Он отмечал, что наиболее важные изменения поверхности Земли произошли от потопа, когда вода затопила всю земную поверхность (Lehman, 1756). Шведский ученый Т. Бергман считал, что из вод первичного океана путем осаждения образовались кристаллические породы. Так же полагал и К. Линней. О Мировом океане, покрывавшем Землю, говорил, как было отмечено выше, и Паллас.

Обобщение этих воззрений и личные полевые наблюдения позволили профессору Фрейбергской горной академии А. Г. Вернеру наиболее полно обосновать гипотезу нептунизма. Он же стал и признанным главой этого учения. Вернер и его последователи считали, что первоначальный рельеф Земли образован осаждением из вод Мирового океана. На дне океана, там, где вода была спокойной, путем химического осаждения и кристаллизации отложились кристаллические породы — гранит, гнейс, базальт, порфир и т. п. Так образовались высочайшие первозданные горы, вершины которых, однако, не возвышались над уровнем воды. Углубления между горами образовались там, где из-за стремительных подводных течений кристаллические осадки не накапливались. Затем уровень воды понизился за счет разложения ее на «водотворное» и «кислотворное» вещество, причем, как допус-

кал Вернер, вода могла быть перенесена и на другие планеты. При понижении уровня воды образовались «вторичные» породы, являвшиеся продуктами разрушения первозданных гор — серые вакки, известняки, глины, песчаники, каменные угли, мел, гипс и т. п. В этих отложениях встречаются остатки первых представителей органической жизни — кораллы и раковины.

Наиболее молодыми образованиями, по мнению Вернера, являются наносы — суглинок, песок, гравий, торф и др. Существуют также вулканические породы, имеющие вид шлака, которые обязаны своим происхождением действию огня (Werner, 1787). Этот огонь вызывается горением каменного угля и горючих веществ, однако сами эти вещества образовались после того, как отложились первозданные породы и был создан первоначальный рельеф Земли. Таким образом, вулканические явления играют незначительную роль в жизни Земли. Современные долины и горы являются лишь остатками первозданных горных цепей, которые разрушались путем выветривания, под действием воды, воздуха и колебаний температуры.



Д. Геттон

Таким образом, Вернер, придавая исключительное значение химическому осаждению из воды и экзогенным процессам, почти совершенно отрицал роль эндогенных процессов и внутренней энергии Земли в формировании ее современного рельефа. Вернер резко возражал против гипотезы Бюффона об образовании Земли из расплавленной и потом застывшей массы. Он расходился также с Палласом в представлениях о роли вулканизма, хотя в некоторых вопросах, например об образовании горных пород, воззрения Вернера и Палласа были сходны.

Вернер был блестящим лектором и популяризатором. Его лекции способствовали тому, что нептунизм стал весьма распространенным и модным течением в науке. Перевод записей лекций Вернера на русский язык был сделан А. Севастьяновым (1810). Положительным в учении нептунизма было правильное представление об образовании осадочных пород путем химического и механического осаждения, а также попытка разделения пород по их геологическому возрасту. В дальнейшем это послужило основой для развития стратиграфии.

В конце XVIII в. против нептунизма выступили представители течения вулканизма, или плутонизма. Само название этой гипотезы показывает, что ее сторонники придавали наибольшее значение действию подземного огня и вулканическим явлениям, т. е., по существу, эндогенным процессам. Наиболее ярким представителем и главой этой школы стал шотландский ученый Джемс Геттон. Его взгляды были изложены им сначала в 1785 г. в лекции на собрании ученого общества в Эдинбурге (Hutton, 1788), затем в двухтомном труде «Теория Земли», опубликованном в 1795 г.

Основой взглядов Геттона было предположение о существовании внутри Земли расплавленной массы. Этот расплав активно влияет на формирование рельефа Земли. Геттон и его последователи считали, что развитие Земли циклично. Над поверхностью океана, покрывавшего раньше Землю, под действием воздымающей силы расплава поднялись острова и континенты. При этом слои осадочных пород, отложившиеся раньше на дне океана, изгибались и разламывались. После поднятия материков они начинают разрушаться, обломки сносятся на дно океана, где уплотняются под влиянием внутреннего жара Земли. Затем, под влиянием той же воздымающей силы, поднимаются новые материки, и весь цикл начинается сначала. Действие расплава регулируется извержениями вулканов. В том случае, когда поднимавшийся расплав не достигал поверхности, он затвердевал, образовав изверженные породы — траппы, базальты, граниты и т. п.

Развитие Земли, по Геттону, происходило медленным, эволюционным путем. Преобразования, происходившие внутри каждого цикла, не отличались от изменений предыдущих и последующих циклов — в этом отношении взгляды Геттона были менее прогрессивны, чем представления Ломоносова об общей эволюции Земли.

Важным в работах Геттона был тот факт, что в его учении соединялись и представления, положенные в основу нептунизма об океане, покрывавшем Землю, на дне которого отложились горизонтальные слои, и воззрения о существовании подземного огня, активно влияющего на преобразования Земли. По существу, учитывались все геологические факторы, лишь преимущественная роль придавалась эндогенным процессам. Такой разносторонний подход к геологическим явлениям способствовал тому, что взгляды Геттона, имевшие много сторонников, оказали большое положительное влияние на развитие геологии.

Следует отметить, что в геологической науке в течение длительного времени основой геологических изменений и преобразования поверхности Земли считалась сила тяжести, обрушение. Таковы были представления Декарта об обрушении участков земной коры в расположенную под ней водную оболочку, аналогичные воззрениям Стенона, Бернета и др.

Лишь с середины XVIII в. появились взгляды об образовании рельефа Земли путем поднятий, т. е. действия вертикально направленных сил изнутри на земную поверхность. В одном случае это результат вулканических извержений, по Палласу, очаги которых, однако, залегают неглубоко — не ниже поверхности гранитной части Земли, в другом — результат воздействия глубинных очагов «подземной хляби», по Ломоносову, и воздействия внутренних расплавленных масс, по Геттону. Таким образом, в представлениях ученых XVIII в. были заложены основы новой гипотезы, окончательно сформулированной лишь в начале XIX в. — гипотезы поднятия.

* * *

Переход от метафизической к стихийно-диалектической картине мира, а также научная революция в естествознании оказали большое влияние на развитие геологии. Середину XVIII в. можно считать временем оформления геологии как науки. Идея развития связана с трудами Бюффона, Канта, Ломоносова. Характерно создание «теорий Земли» (Бюффон, Геттон). Проявившаяся ранее борьба течений «огня» и «воды» находит выражение в борьбе плутонизма и нептунизма. Продолжает развиваться минералогия и кристаллография, как самостоятельные научные отрасли зарождаются стратиграфия, учение о горных породах, о рудных месторождениях, накапливаются знания о нерудных полезных ископаемых.

Начало систематическим стратиграфическим исследованиям было положено в пятидесятых годах XVIII в. работами Ардуино в Северной Италии и И. Лемана в Центральной Германии.

Исследования Ардуино в сложно построенной области Северных Апеннин и Южных Альп привели к расчленению осадочных толщ этой области на первичные, вторичные и третичные. Эта трехчленная схема получила впоследствии общее признание и в форме деления на палеозойские, мезозойские и кайнозойские (третичные) образования сохранила свое значение до настоящего времени. В остальном исследования Ардуино не повлияли на последующее развитие стратиграфических представлений. Не получили они дальнейшего развития и в работах других итальянских исследователей второй половины XVIII в. Геологические условия Северной Италии оказались, по-видимому, для этого слишком трудными.

Более благоприятные условия для стратиграфических исследований существовали в Центральной Германии, в области герцинских массивов Гарца, Тюрингского Леса и Рудных гор, т. е. в одном из наиболее старых культурных и горнопромышленных центров Западной Европы. Развитый здесь над герцинским фундаментом покров четко стратифицированных отложений перми и триаса легко поддавался стратиграфическому расчленению. Внимание же к этим отложениям привлекло присутствие в них угля, соли и пластовых залежей медных руд, издавна являвшихся в данной области объектами широкой промышленной эксплуатации.

В течение второй половины XVIII в. усилиями целой плеяды немецких исследователей здесь была создана детальная региональная схема стратиграфического расчленения пермских и триасовых (по современной классификации) отложений, не потерявшая своего значения до настоящего времени. Здесь же, на базе этой региональной схемы, были разработаны универсальная, по мысли ее автора — Вернера, схема стратиграфической последовательности слагающих земную кору «горных пород» и тесно с ней связанная общая нептунистическая концепция.

Начало этим исследованиям было положено, как отмечалось, Леманом. В 1756 г. был опубликован его труд «Опыт восстановления истории флёцовых гор» (Lehman, 1756). В этой работе он изложил свои взгляды на историю Земли, в частности на историю возникновения изученных им толщ горных пород. В этом отношении представления Лемана были мало оригинальны и находились еще под влиянием священного писания. В соответствии с последним Леман считал, что в истории Земли было лишь два существенных события общего значения: сотворение мира и всемирный потоп. С этими двумя событиями Леман и связывал в основном образование известных ему толщ горных пород, разделяя их на две основные группы: жильных (Ganggebirge), существующих «от сотворения мира», и флёцовых (Flötzgebirge), образовавшихся в результате всемирного потопа. Леман допускал, что и после всемирного потопа происходили небольшие местные изменения, вызванные наступаниями и отступаниями моря, землетрясениями, деятельностью огнедышащих гор, но не придавал этим местным изменениям существенного значения и связывал с ними, по-видимому, лишь образование новейших «наносов» и некоторых вулканических пород. Жильные породы характеризуются, по Леману, тем, что слои их залегают не горизонтально, а вертикально или крутонаклонно и уходят в «вечную глубину». Эти слои отличаются богатством различных металлов и минералов и в то же время отсутствием ископаемых организмов. Флёцовые породы, наоборот, слагают горизонтально или полого залегающие пласты, бедные металлами и минералами, но зато заключающие остатки животных и растений.

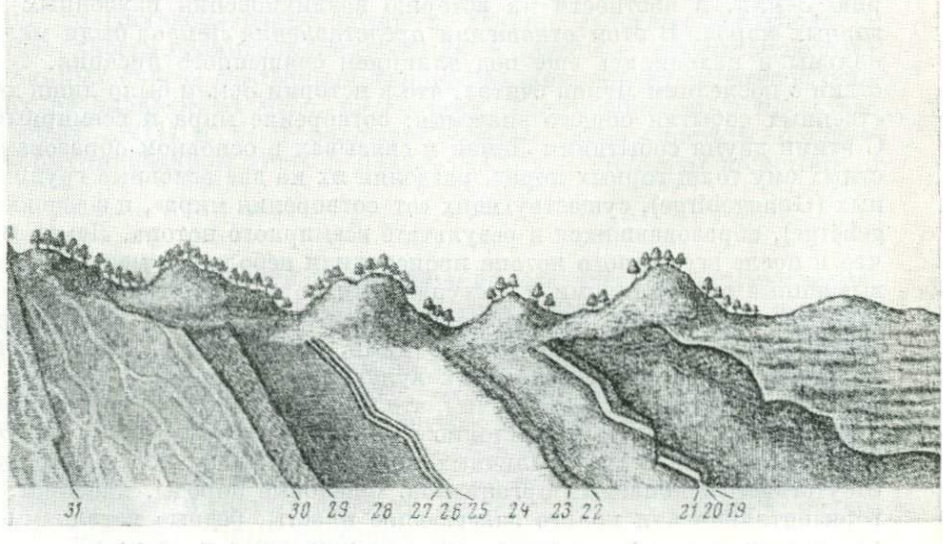
Основной интерес представляет, однако, в книге Лемана изложение результатов его стратиграфических исследований, которые он отобразил графически, в тщательно составленном сводном профиле юго-восточной окраины гор Гарца (рис. 3).

Как показывает разрез (описание которого дается в тексте книги), Леман различал до 30 различных слоев флёцовых пород, которые противопоставлялись единому комплексу жильных пород (слой 31). По современному делению слой 1 профиля Лемана отвечает четвертичным отложениям; слои 2—16 — цехштейну; слой 17—мертвому красному лежню; слои 18—30 — верхнему карбону; слой 31 — доверхнекаменноугольным породам Гарца. В серии флёцовых отложений Леман различал их верхнюю (слои 1—18) и нижнюю (слои 19—30) части. Но значение, которое придавалось этому разделению, остается неясным, так как все слои флёцовых отложений рассматривались Леманом как образования одной эпохи всемирного потопа.

Важный шаг в развитии общих стратиграфических представлений был сделан современником Лемана Г. Х. Фюкселем, проведшим основную часть своей жизни в небольшом провинциальном городке Рудольштате. Результаты геологических исследований Фюкселя изложены в сочинении «История Земли и Моря, установленная по истории Тюрингских гор», опубликованном в 1762 г. на латинском языке в малораспространенном провинциальном издании. Долгое время эта работа оставалась малоизвестной даже немецким ученым, и лишь после того как основные ее положения были изложены в очерке истории и литературы геогнозии Х. Кеферштейна (Keferstein, 1840), она приобрела заслуженную широкую известность.

Фюксель впервые, по-видимому, в истории геологии пытался разработать систему соподчиненных стратиграфических понятий и отвечающих им терминов. Он различал понятия: «слои» (Strata, Schichten), «залежь» (Situs, Lager) и «горная серия» (Series montana). Последняя рассматривалась Фюкселем как комплекс тесно связанных слоев, возникших в одинаковых условиях (Montes at eadem massa eodemique modo constructi), и стала впоследствии обозначаться (Keferstein, 1840) термином «формация».

Установление понятия «формация» явилось весьма важным моментом в развитии стратиграфических представлений. Если Леман чисто эмпири-



чески выделял многочисленные, но безликие в стратиграфическом отношении слои флёцовых пород, то Фюксель стремился уже сгруппировать эти слои в более крупные естественные регионально-стратиграфические единицы — формации. Фюксель подметил при этом, впервые в Германии и одним из первых вообще, что отдельные формации различаются также и в «петрефактологическом» отношении: каменноугольная формация — остатками растений; цехштейн — раковинами «грифитов»; раковинный известняк — присутствием «остреитов» и т. д.

Отмечая дальше, что одни формации заключают лишь остатки наземных растений, а другие — морских организмов, Фюксель сделал вывод о различных условиях образования данных отложений и о чередовании этих условий в жизни Земли. Это привело Фюкселя к представлению о формациях как о комплексах слоев, которые отвечают определенным эпохам земной истории.

В сводном разрезе Тюрингии Фюксель различал девять основных формаций и ряд промежуточных подразделений. Наиболее древняя из них отвечала жильным породам схемы Лемана; все остальные — флёцовым. Фюксель дополнил при этом стратиграфический разрез Лемана двумя новыми членами: отложениями песчаника (современный нижний триас) и раковинного известняка (современный средний триас), которые Леману остались, по-видимому, неизвестными. В схеме Фюкселя, таким образом, были заложены уже первые кирпичи, из которых сложилось впоследствии здание международной стратиграфической шкалы.

Схема расчленения флёцовых пород Лемана и Фюкселя была дополнена и уточнена затем в работах И. Ф. Вильгельма Шарпантье (старшего) и особенно И. К. Фрейслебена, который посвятил этим отложениям четырехтомную монографию, опубликованную в 1807—1815 гг. В первом томе упомянутой монографии Фрейслебен (Freisleben, 1807) дал общую схему расчленения этих отложений, которые в целом он называл медисто-сланцевыми породами (Kupferschiefergebirge). В их составе он различал четыре основных подразделения (сверху вниз): 1) раковинный известняк; 2) песчаные и глинистые породы; 3) древние известняковые породы; 4) древние песчаниковые породы.

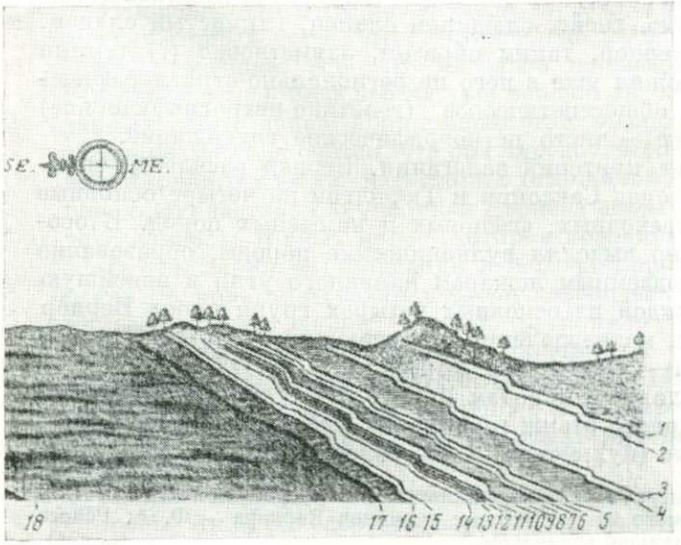


Рис. 3. Сводный разрез флёцовых пород юго-восточной окраины Гарца, составленный И. Г. Леманом (Lehman, 1756).

Два нижних подразделения отвечают нижнему (мертвый красный лежень) и верхнему (цехштейн) отделам германской перми, а два верхних (выделенных уже Фюкселем) — нижнему и среднему отделам германского триаса.

Схема Фрейслебена в основных подразделениях, послуживших прототипами отделов пермской и триасовой систем, была принята всеми немецкими исследователями и без существенных изменений первоначально Д'Омалиусом д'Аллуа, а затем и другими европейскими геологами была включена в общеевропейскую систему стратиграфической классификации.

Исследования Лемана, Фюкселя и других немецких геологов подготовили почву для развития идей А. Г. Вернера в области стратиграфии. В своих геогностических обобщениях и выводах Вернер широко использовал данные предшественников и современников, особенно Фюкселя, от которого перенял ряд понятий и терминов, вложив в них, однако, существенно иное содержание.

Система стратиграфических представлений Вернера [1] опиралась на два основных понятия: «з а л е г а н и е» (Lagerung), отражающее последовательность и эпохи образования различных толщ горных пород, и «ф о р м а ц и я» (Formation), отражающее условия образования тех же толщ пород. Самостоятельность условий залегания и принадлежность к определенной формации или группе формаций являлись, таким образом, основными *критериями, которыми руководствовался Вернер при стратиграфическом* расчленении горных пород Тюрингии и Саксонии.

Критерий залегания был разработан Вернером весьма широко и тщательно. Анализируя условия залегания и характер взаимоотношений отдельных толщ слоев, Вернер ввел и определил ряд весьма важных для стратиграфии понятий: согласного и несогласного залегания, трансгрессивного залегания и некоторых других.

Под формацией Вернер понимал совокупность горных пород близкого химического состава, отвечающего, по его представлениям, составу тех вод (Мирового океана), из которых данные породы отложились химическим или механическим путем. Вернер различал восемь главных формаций: шифера, известняка, траппа, углерода и др. Каждая формация слагалась, по Вернеру, из многих членов, которые он называл г о р н ы м и п о р о д а м и (Gebirgsart). Так, например, в составе формации шифера выделялись такие «горные породы», как гранит, гнейс, слюдяной сланец, глинистый сланец, песчаник и ряд других. Вернер, таким образом, заимствовав (?) термин «формация» у Фюкселя, вложил уже в него не регионально-стратиграфическое, как у Фюкселя, а общегенетическое (генетико-петрографическое) в принципе, практически же — чисто петрографическое содержание.

Опираясь в основном на критерий залегания, Вернер расчленил известные ему толщи горных пород Саксонии и Тюрингии на четыре основные группы: первозданных, переходных, флёцовых и намывных пород. В особую, пятую, группу Вернер выделял вулканические породы, образование которых он приписывал подземным пожарам каменного угля в новейшую *эпоху жизни Земли. В каждой из основных четырех групп пород* Вернер выделял ряд более дробных подразделений, отвечающих последовательным членам —«горным породам»— различных формаций.

К первозданным и переходным породам Вернер отнес образования нижнего (складчатого) структурного этажа герцинских массивов (Гарца и др.), т. е. нижнекаменноугольные (кульмские) и все более древние. К флёцовым

[1] С наибольшей полнотой стратиграфические представления Вернера изложены в третьей части курса минералогии одного из ближайших учеников Вернера — Ф. А. Рёйсса (Reuss, 1805), которому мы дальше и следуем.

породам был отнесен соответственно комплекс слоев верхнего структурного этажа, от верхнекаменноугольных до третичных, за исключением новейших, четвертичных, образований, выделенных в группу намывных пород.

Флёцовые породы Вернер разделил на две группы: первого покрова вод, до мела включительно, и второго покрова вод, включающую широко распространенные в бассейне р. Эльбы третичные буроугольные отложения. Это разделение намечало уже будущую границу мезозоя и кайнозоя. В серии флёцовых пород первого покрова вод в схеме Вернера, как и в схемах других немецких ученых того времени, достаточно полно были представлены только отложения перми, а также нижнего и среднего триаса. Из более высоких членов мезозойского разреза в ней фигурировали лишь некоторые горизонты верхнемеловых отложений (кварцевый песчаник, плэнэр, мел).

Таким образом, в схеме Вернера, с одной стороны, по условиям залегания выделялись крупные комплексы слоев, отвечающие целым структурным этажам и не имеющие, по сути дела, конкретного стратиграфического содержания; с другой же — по петрографическим признакам (по «формации») — уже конкретные, но весьма дробные «стратиграфические» единицы —«горные породы». Длинные «стратиграфические» ряды «горных пород» при этом были установлены Вернером не только среди флёцовых, но и среди первозданных и переходных пород, стратиграфические взаимоотношения различных слоев которых оставались еще в то время совершенно неясными. Вернер опирался здесь лишь на единичные случайные наблюдения, а в большей степени, по-видимому,— на свои общие теоретические представления о последовательности образования «горных пород» различного состава.

Широкое продуманное использование критерия залегания позволило Вернеру правильно, в целом, выделить основные стратиграфические комплексы известного ему региона. Эти представления Вернера, как в отношении структурного метода стратиграфического расчленения, так и в отношении самой схемы расчленения, получили широкое признание. Некоторые элементы такого общего расчленения не потеряли своего значения и сейчас — они вошли в международную хроностратиграфическую шкалу.

Но в том, что касалось более дробного расчленения, опиравшегося на критерий «формация» (условия образования) и соответственно на общие нептунистические представления Вернера, его схема стала лишь тормозом дальнейшего развития стратиграфических представлений.

Закрепленная в схеме Вернера «историческая» последовательность различных горных пород была установлена на основе изучения очень ограниченного региона; все, что касалось первозданных и переходных пород, устанавливалось большей частью вообще на основе совершенно случайных данных. Но Вернер приписывал этой последовательности универсальное значение, так как считал, что она определяется общими изменениями состава вод Мирового океана, из которых отложился соответствующий ряд горных пород. Это заставляло учеников Вернера искать и находить именно ту последовательность горных пород, которая предопределялась схемой их учителя.

В отношении установления в ней «исторического» ряда «горных пород» схема Вернера представляла собой классический пример возведения в ранг универсального закона частных (региональных) закономерностей и даже чисто случайных геологических явлений. С развитием стратиграфических исследований в других странах эта сторона схемы быстро обнаружила несостоятельность, и лишь в Германии благодаря огромному научному авторитету ее автора она сковывала мысль немецких геологов вплоть до 20-х годов XIX в.

Таким образом, на протяжении рассматриваемого периода, с одной стороны, была разработана первая и единственная для того времени регио-

нальная стратиграфическая схема — пермско-триасовых отложений Центральной Германии, а с другой — первая общая система стратиграфической классификации (Вернера). Первая из этих схем, региональная, полностью сохранила значение и вошла впоследствии в общую систему международной стратиграфической классификации. Вторая, универсальная, оказалась неприемлемой в целом и сохранилась лишь в некоторых из наиболее общих своих элементах.

ЗАРОЖДЕНИЕ УЧЕНИЯ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Горные породы привлекали внимание еще с глубокой древности. В XVI в. было признано, что породы образуют самостоятельный класс минеральных веществ. Г. Агрикола отличал горные породы от минералов по их гетерогенному составу и указывал, что различные минералы выделяются из них механическим путем. Точка зрения Агриколы господствовала долгое время. Только в XVIII в. наблюдается значительный дальнейший прогресс в изучении пород. Вследствие того, что за предшествующий период накопилось большое количество разрозненных фактов, основной направленностью в науке во второй половине XVIII в. являлось стремление к систематизации и классификации горных пород и вместе с ними минералов и полезных ископаемых. На первых порах большинство классификаций горных пород основывалось главным образом на их структурных признаках и минералогическом составе.

К. Линней в «Системе природы», изданной в 1735 г., классифицировал вещества минерального царства и разделял их на породы и минералы (включая руды и окаменелости); позднее, в 1768 г., он разделил горные породы на пять отделов; 1) гумозные; 2) известковистые; 3) глинистые; 4) песчанистые и 5) аггрегированные. Последний из этих отделов включает гранит, гнейс, порфир, амигдалоиды и другие, которые характеризуются ясно выраженными структурами.

И. Г. Валлериус в «Трактате минералогии», первоначально изданном на шведском языке в 1747 г., и в работе «Система минералогии» в 1778 г. предлагал другую классификацию: 1) земли; 2) камни, включая породы; 3) минералы, включая руды и металлы, и 4) окаменелости. «Камни» он делил на пять групп, из которых одна представляет собой породы, подразделяемые: а) на смешанные, включающие типичные изверженные и метаморфические породы, в которых породообразующие минералы срастаются между собой (структура срастания); и б) на аггрегированные, такие как песчаники и конгломераты, в которых породообразующие минералы связаны механически. Отдельные виды пород определялись по минералогическому составу. Таким образом, в основу разделения пород была положена структура, а видовые различия базировались на минералогическом составе.

В работе «Опыт системы минералогии», изданной в 1758 г. на шведском языке, затем переведенной в 1760 г. на немецкий и в 1770 г. на английский языки, А. Ф. Кронштедт классифицировал минералы и породы: 1) на земли (включая все виды камней или окаменелостей, кроме горючих, солей и металлов); 2) соли; 3) горючие и 4) металлы. Он рассматривал породы в приложении к работе и делил их на «собственно породы» (саха или petrae), окаменелости и природные шлаки. В «собственно породах» он различал две группы: а) сложные породы (саха composita), состоящие из различных веществ, так точно пригнанных и соединенных, что между ними не видно пустого пространства или цемента, и б) «скрепленные» породы (саха conglutinata), в которых частицы сцементированы. В разделении «собственно пород» Кронштедт следовал группировке Валлериуса.

Шведские ученые Д. Тиллас и Т. Бергман изучали породы не с минералогической точки зрения, а скорее с геологической и классифицировали их в зависимости от стратиграфического положения. В труде Бергмана 1769 г. «Физическое описание земного шара» показаны пути использования и определения горных пород, что имело большое значение для решения общих вопросов геологии. Бергман, уделяя главное внимание стройной последовательности стратиграфического расположения пород земной коры, группировал их в возрастную серию: 1) первичные породы, состоящие из химических осадков; 2) пластовые породы, состоящие из механических осадков; 3) перенесенные породы; 4) вулканические породы.

Петербургская академия наук опубликовала в 1783 г. специальную программу для написания работ на премию по классификации горных пород. На это предложение откликнулись многие ученые. В изданиях Академии наук за 1785—1786 гг. были опубликованы классификации Ж. Сулави и Л. Делоне. Сочинения на ту же тему представили К. Гайдингер (Haidinger, 1787) и член Брюссельской академии наук М. Лаунау. Откликом на этот конкурс была и работа А. Г. Вернера (Werner, 1787).

Гайдингер делил породы на две главные группы — первичные и вторичные. Он предлагал при решении проблемы классификации все породы делить на семейства, роды и виды.

Вернер делил породы на главные группы не по происхождению и структуре, а, следуя Бергману, по их геологическому возрасту (Werner, 1786): 1) первичные; 2) переходные; 3) пластовые; 4) аллювиальные; 5) вулканические.

Несмотря на такую классификацию, Вернер учил, что породы можно и должно описывать и различать по их составу, структуре, условиям залегания и происхождению.

Он отличал простые породы, такие как известняки, состоящие только из одного минерала, от сложных или смешанных пород — гранита, порфира и других, состоящих из смеси минералов. В сложных породах он различал существенные и акцессорные минералы. Он особенно подчеркивал значение структуры в качестве описательного признака, но придавал ей меньшую роль в определении пород, чем минералогическому составу, вследствие того, что порода может иметь различную структуру в разных условиях залегания и образования. Однако Вернер не придавал решающего значения генетическому фактору при классификации. Отнесение им гранитов и базальтов к водным образованиям позднее не было принято.

Однако учение Вернера имело ряд положительных сторон: понимание и признание кристаллизационных сил, понятие о водном и низкотемпературном происхождении некоторых горных пород и др.

Изучая горные породы, исследователи XVIII в. обращали внимание не только на их состав и свойства, но и происхождение. Так, М. В. Ломоносов в 1757 г. описал различные способы образования осадочных горных пород: 1) уплотнение под действием повышенных температур и давления; 2) цементация; 3) отложение новых слоев в результате осаждения переносимого водой материала; 4) выпадение аморфных тел из растворов; 5) кристаллизация растворенного вещества. Он также отмечал, что продукты деятельности вулканов покрывают большие площади.

Позднее В. М. Севергин на основании признания роли геологических факторов противопоставлял минералам «горные породы», которые, по его мнению, «обыкновенно составляют целые горы». Этот термин был им введен впервые в русскую литературу. До него и отчасти некоторое время спустя к горным породам применялись названия «минерал», «почва», «земля» и др.

Севергин (1798) разделял породы на простые и сложные. Сложные — это гранит, гнейс, сиенит, порфир. Они сложены из различных ископаемых пород. Простые — известь, мармор — состоят из однообразных частей (минералов). Среди сложных пород он выделял группы кремнистых, глинистых, тальковых и известняковых пород. Вообще все породы он разбил на шесть типов: 1) кристаллические (гранит); 2) слоеватые (гнейс); 3) сплошные (порфир); 4) миндалевидные (миндальный камень); 5) брекчиевидные и 6) песчанистые.

Главную и выдающуюся роль в «споре о базальтах» сыграли французские и немецкие геологи и естествоиспытатели. Во Франции в это время усиленно изучали покровы и куполы горных пород области Оверни, Прованса, Виварэ и Велэ такие видные исследователи, как Ж. Э. Геттард, Ж. Сулави и Б. Фожа де Сен-Фон. В самом начале своей деятельности даже Геттард, знакомый с вулканическими явлениями, придерживался наиболее распространенной теории водного происхождения базальта; между тем Ардуино, Демаре и Фожа де Сен-Фон были сторонниками вулканического его происхождения.

Ардуино в 1759 г. допустил, что базальты произошли в результате древних подводных извержений. Несколько позднее к нему присоединились: по базальтам Франции — Геттард; по базальтам, залегающим в основании вулкана Этны,— Доломье, вулкана Геклы — Банкс, Солайдер и Прояль; по базальтам Гессена — Расп, рейнским — Колини.

В особенности разгорелся спор в Германии в 1788—1789 гг., когда Вернер (и его ученик Гумбольдт) резко и решительно выступил за водное происхождение базальта, т. е. за осаждение его из хаотической жидкости на дне океана, происходившее в поздние эпохи развития Земли. Граниты же, по мнению Вернера, образовались в первичный период развития Земли. Одновременно Геттон (Hutton, 1788) и многие геологи, в том числе возражавший Вернеру его ученик К. В. Фойгт, считали базальты, как и граниты, породами «огненного» происхождения.

В. М. Севергин в 1789 г. выступил с трактатом «О естестве и образовании базальта, или столбчатого камня», в котором отстаивал свое мнение об образовании базальта из «огня».

Нужно сказать, что спор нептунистов и плутонистов о происхождении базальтов и гранитов наталкивал исследователей на необходимость дальнейшего накопления фактов о горных породах. Поэтому в начале XIX в. он послужил толчком для усиленного изучения минералогического состава *горных пород и поисков наилучшего способа их классификации*, главным образом на основе состава и структуры. Появились специалисты, проявлявшие особый интерес к горным породам как самостоятельной естественно-исторической группе, а зародившаяся новая отрасль знания, позже названная петрографией, стала обособляться от минералогии. Возникло стремление к созданию особых методов исследования горных пород.

Для истолкования происхождения горных пород уже в конце XVIII в. первые шаги по постановке опытов плавления горных пород были сделаны швейцарским исследователем Г. Б. Соссюром и французским исследователем Б. Фожа де Сен-Фона в 1787 г., французом Г. С. Доломье в 1783 г., американским геологом Дж. Холлом в 1794 и 1798 гг., итальянцем Л. Спаланцани в 1798 г., французом Ж. Бюффоном и, наконец, Р. Реомюром. В это время происходили преимущественно опыты плавления базальта. Они показали, что при быстром застывании расплавленного базальта получалось стекло, а при более медленном — в значительной степени раскристаллизованная масса. Это показало, в свою очередь, зависимость структуры пород от условий охлаждения. Некоторые из этих опытов не утратили значения до настоящего времени.

РАЗВИТИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

В середине XVIII в. развитие минералогии шло по двум направлениям: физическому, к которому можно отнести кристаллографическое изучение минералов, и химическому.

Замечательные мысли о кристаллах были высказаны М. В. Ломоносовым. Строение кристаллов селитры представлялось ему в виде плотнейшей укладки из шарообразных частиц. «Пусть шесть корпускул расположены друг около друга так, что прямые линии, соединяющие их центры, образуют равносторонние треугольники, в результате получится фигура, ограниченная шестью линиями, подобная призмам, образуемым селитрою... Углы кристаллов селитры соответствуют предполагаемому расположению частичек, так как большинство их в отдельности составляет 120°...» «На основании нашей гипотезы можно легко объяснить другие роды кристаллов, например кубические кристаллы поваренной соли, где линии, проходящие через центры частичек, составляют квадраты» (*Ломоносов*, 1951, стр. 273—275). В приведенной цитате Ломоносов не только обосновывает теорию кристаллической структуры, но и вполне отчетливо формулирует закон постоянства углов, исходя из своей гипотезы о строении кристаллов из шарообразных частиц, которая во многих отношениях более близка к современным взглядам, чем позднейшая гипотеза Р. Ж. Гаюи.

В сочинении 1766 г. «Рассуждение о жидкости и твердости тела» Ломоносов описывает пространственное расположение шариков, слагающих кристалл. Это описание, а также приложенная к оригинальному тексту гравюра показывают, что ученый различал два типа шаровых укладок: плотнейший и разреженный. Первый соответствует кубической центрогранной решетке (на плоскости шарики располагаются в виде ромбов и шестиугольников), второй образует простую кубическую решетку (плоскостное расположение шариков отвечает квадратам).

Свои теоретические взгляды Ломоносов применял на практике. Большое значение для того времени имело высказанное им положение о постоянстве (вернее, характерности) форм кристаллов рудных металлов «Руды показываются двояким образом, из которых иные держатся свойственной себе постоянной фигуры, как кубические марказиты (пирит.— *И. Ш.*), желтый сферический колчедан, угловатый белый колчедан, иглам подобная сурьма (антимонит, или сурьмяный блеск.— *И. Ш.*) и многие другие»,— читаем мы в «Слове о рождении металлов» (Ломоносов, 1954, стр. 340). Для того чтобы понять важность этого положения, достаточно противопоставить ему мнение Ж. Бюффона, согласно которому кристаллическая форма не имеет постоянного характера и более разнообразна и изменчива, нежели любой признак, позволяющий различать минералы.

М. В. Ломоносов рассматривал вопрос о кристаллических формах, исходя из практики. Он знал, что рудокопы распознают различные минералы по внешним формам. Поэтому при исследовании кристаллов одного и того же минерала следует обращать внимание на то, что является для них общим — на постоянство углов между соответственными гранями, а также на частое появление на разных кристаллах минерала одних и тех же структурно важных граней. Практический подход позволил Ломоносову понять всю важность кристаллических форм минералов как характерных диагностических признаков. Ломоносову принадлежат одни из ранних измерений углов на кристаллах. В этом отношении нижеследующая выдержка из знаменитого трактата Ломоносова «О слоях земных» занимает почетное место в истории кристаллографии. «Наконец, отличною фигурой известные (кальцит, или известковый шпат.— *И. Ш.*) и больше всех дорогие камни последуют



Ж. Б. Роме де Лиль

в своем рождении законам геометрическим углами и плоскостьми. Многие из них родятся ромбоической фигуры, имея два угла по шестьдесят и два по сто двадцать градусов, что я нарочно мерял у некоторого немалого негранёного алмаза и у других прозрачных камней» (Ломоносов, 1954, стр. 599) [1].

Чтобы оттенить передовое значение высказываний Ломоносова о кристаллах, упомянем вкратце о курьезной систематике минералов по их кристаллическим формам, предложенной К. Линнеем. Согласно Линнею, форма минералов всегда образуется за счет присутствия в них некоторой соли. Таким образом, соли являются «отцами» кристаллической формы, а основное вещество камня соответствует «материнскому началу». В связи с этим Линней подразделял кристаллы минералов на роды по числу солей, порождающих характерные формы. Квасцы, например, согласно взглядам Линнея, порождают октаэдрическую форму. Поэтому к названиям всех веществ, кристаллизующихся в виде октаэдров, Линней присоединял слово alumen (квасцы). Так, алмаз, по Линнею, назывался alumen adamas. При этом сходство различных кристаллов определялось лишь на глаз; угловые величины совершенно не принимались во внимание. Так, например, к одному и тому же «роду буры» были отнесены тригональный турмалин, ромбический топаз и кубические гранаты, тогда как сама бура является моноклинной. Ясно, что такая систематика не помогала, а лишь запутывала изучение природных кристаллов.

Закон постоянства кристаллографических углов снова привлек внимание ученых лишь в конце XVIII в. Он окончательно утвердился в науке после выхода в свет в 1783 г. «Кристаллографии» французского естествоиспытателя Ж. Б. Роме де Лиля: «Грани кристалла могут изменяться по своей форме и относительным размерам, но их взаимные наклоны постоянны и неизменны для каждого рода кристаллов» (цит. по Стенону, 1957, стр. 138). В этой формулировке Роме де Лиль обобщил свои многолетние труды по измерению углов на кристаллах разнообразных веществ. Закон постоянства углов явился надежным фундаментом для развития геометрической кристаллографии и вместе с тем дал богатейший материал для установления истинной симметрии кристаллических тел. Впоследствии он лег в основу методов Е. С. Федорова, А. К. Болдырева, Т. Баркера и других, позволяющих по углам между гранями, т. е. по внешней форме кристаллов, определять их вещество. Изучая кристаллы, Роме де Лиль не углублялся в рассуждения о внутреннем кристаллическом строении. «Ограничимся же тем, что

[1] Очевидно, Ломоносов измерял кривогранный кристалл алмаза ромбо-додекаэдрической формы. Плоские углы на гранях ромбододекаэдра равны 70°88′ и 109°28′.

нам дается наблюдениями, если мы не хотим подменить плодами нашего воображения величественного молчания Природы относительно ее первичных элементов»,— провозглашал осторожный ученый (цит. по Стенону, 1957, стр. 143). Гораздо смелее в этом отношении был его младший современник и удачливый соперник Р. Ж. Гаюи. «Все найдено!»— воскликнул он, заметив, что случайно выпавший из его рук большой кристалл кальцита раскололся на множество маленьких параллелепипедальных (ромбоэдрических) осколков (кальцит обладает хорошей спайностью по ромбоэдру). Именно в этот момент в его уме зародилась новая теория строения кристаллов. В отличие от Кеплера и Ломоносова Гаюи предположил, что кристаллы построены не из мельчайших шариков, а из молекул параллелепипедальной формы и что предельно малые спайные осколки и являются этими самыми молекулами. Иными словами, кристаллы представляют своеобразные кладки из молекулярных «кирпичиков». Несмотря на всю наивность с современной точки зрения, эта теория сыграла большую историческую роль, дав толчок к зарождению теории решетчатого строения кристаллов.



Р. Ж. Гаюи

Этим не исчерпываются заслуги Гаюи. Им открыт знаменитый закон рациональности отношений отрезков, отсекаемых гранями на ребрах кристалла (закон Гаюи). Впервые он обратил внимание на то, что наблюдателю, разглядывающему кристалл с разных сторон, нередко кажется, что перед ним как бы повторяется одна и та же картина. Объясняется это тем, что такой кристалл состоит из повторяющихся равных частей. Иными словами, Гаюи одним из первых уловил симметричное строение множества кристаллических тел. Ему же принадлежит способ математической характеристики кристаллических граней, с помощью которого можно было даже предсказать, какие именно грани возможны для данного кристалла. В частности, именно таким способом ученому удалось показать, что правильные додекаэдры и икосаэдры несовместимы с кристаллическим строением (Гаюи, 1962).

Большую известность получил «Сборник различных мемуаров о турмалине» петербургского академика Ф. Эпинуса, опубликованный в 1762 г. В нем содержится подробное описание опытов, демонстрировавших явления пироэлектричества на ограненных кристаллах турмалина. Эта книга положила начало новой главе физической кристаллографии — главе об электрических свойствах кристаллов. Впоследствии опыты по электризации кристаллических тел продолжил во Франции Гаюи, высоко оценивший труды Ф. У. Эпинуса.

Ряд замечательных открытий в области кристаллогенезиса принадлежат другому петербургскому академику — выдающемуся химику и кристалло-

графу Т. Е. Ловицу. Ему мы обязаны открытием явлений пересыщения и переохлаждения растворов. Он указал, что пересыщение раствора можно устранить внесением кристаллической затравки (прием, широко используемый и сейчас). Ловиц впервые наблюдал и правильно истолковал образование концентрационных потоков, поднимающихся от растущего кристалла.

Открытие полиморфных модификаций серы, углерода, углекислого кальция, а также многочисленных изоморфных рядов, казалось бы, нанесло жестокий удар основным воззрениям Гаюи. Лишь сравнительно недавно изучение строения кристаллов с помощью рентгеноанализа позволило выяснить сущность полиморфизма и изоморфизма и выявить физико-химическую динамику реальных кристаллов.

РАЗВИТИЕ МИНЕРАЛОГИИ

В развитие описательной минералогии — искусства распознавания минералов по внешним признакам, таким как вес, цвет, блеск, твердость, излом, прозрачность и т. п., большой вклад был внесен А. Г. Вернером.

Однако Вернер недостаточно принимал во внимание химический состав минералов, среду, в которой образовался минерал, процесс его роста и последующие изменения.

Вернер разработал классификацию минералов, разделив их на четыре класса: 1) земли и камни; 2) соли; 3) горючие минералы; 4) металлы и руды. Характеристика классов, родов минералов и металлов давалась по внешнему виду и признаку. Система классификации Вернера была группировкой разнообразных минералов по их внешнему сходству. Она представляла шаг вперед в развитии минералогии. Именно она заставила ученых более внимательно изучить характерные признаки минералов. В результате было установлено, что ряд окаменелых органических остатков, принимавшихся ранее за минералы, к ним не относится.

Кроме описательного и кристаллографического направлений в минералогии, во второй половине XVIII в. зародилось химическое направление, сторонники которого наряду с внешним видом принимали во внимание вещественный состав минералов. Его основоположниками в России был М. В. Ломоносов, в Швеции И. Валлериус, Т. Бергман, К. Шееле и др.

Т. Бергман разработал систематический ход качественного химического анализа, исследовал ряд минералов и классифицировал их по химическому составу. Он впервые применил паяльную трубку для исследования минералов. К. Шееле открыл многие химические элементы, в том числе марганец, окись бария, хлор, вольфрамовую кислоту, впервые установил природу сероводорода и др. В честь Шееле назван минерал шеелит ($CAWO_4$).

Большой вклад в развитие минералогии и химии внес шведский ученый А. Ф. Кронштедт, который обобщил все материалы по минералогии и разработал классификацию минералов на химической основе. Кронштедт значительно улучшил классификацию, отделив от минералов окаменевшие остатки организмов и другие геологические объекты. Классификация А. Кронштедта изложена в книге «Опыт классификации царства минералов» (1758 г.), переведенной на русский язык в 1776 г. Отметим, что первое издание этой книги вышло из печати без имени автора, вероятно, во избежание критики. Однако книга Кронштедта была встречена положительно и была переведена на ряд европейских языков (Теряев, 1819, стр. 10).

М. В. Ломоносов в 1763 г. в работе «Первые основания металлургии или рудных дел» впервые указал на прямую связь химических процессов,

происходящих в Земле, с образованием руд и минералов. Он отметил большое влияние воды при окислении, растворении и отложении минералов в горных выработках и трещинах горных пород. В описании рудных месторождений Ломоносов отчетливо выразил мысль о совместном нахождении определенных минералов.

Ломоносов описал ряд минералов, руд, их поисковых признаков и условий нахождения в природе. Кроме рудных минералов, Ломоносов детально охарактеризовал металлы: золото, серебро, медь, олово, железо, свинец. Он выделил полуметаллы (так назывались в середине XVIII в. мышьяк, сурьма, висмут, цинк и ртуть) и разработал классификацию минералов, в которой делил минералы на металлы, полуметаллы, жирные или горючие минералы, загустелые соки, соли, камни, земли и руды. Ломоносову принадлежит честь открытия красной свинцовой руды, позднее названной крокоитом.



А. Г. Вернер

И. Я. Берцелиус, так же как Ломоносов и Кронштедт, рассматривал минералогию как химию Земли. Он писал: «Минералогия, хотя она и рассматривается как особая наука, все же представляет учение о неорганических соединениях, образующих наш земной шар и является лишь частью химии» (цит. по кн. Соловьева и Куринной, 1961, стр. 101). Берцелиус впервые определил, что кремнезем представляет собой кислоту. Он первый ввел в химию буквенные обозначения химических элементов, а в минералогию — химические формулы минералов, чем значительно облегчил язык химиков и минералогов.

Продолжателем химического направления в минералогии был В. М. Севергин. Он развивал идеи Ломоносова о связи химических процессов в недрах Земли при образовании минералов.

В. М. Севергин писал, что «лучший способ разделения минеральных тел есть тот, который основан на химических признаках, ибо они ясно, точно, кратко и основательно определяют минеральное тело» (Севергин, 1798, стр. 85). Развивая идею Ломоносова, В. М. Севергин указал на совместное нахождение некоторых минералов в месторождениях и на этой основе разработал учение о смежности минералов. «Смежностью минералов называю я совокупное пребывание двух или многих минералов в каком-либо месте... например, сопребывание кварца со слюдою, с самородным золотом и проч.» (там же). В 1849 г. немецкий минералог И. Ф. Брейтгаупт описал это явление, назвав его парагенезисом минералов.

Особенно ясно роль химического направления в минералогии была подчеркнута в работе Севергина «Подробный словарь минералогический», относящийся к 1807 г. «...Когда особливо химия, сия верная путеводительница всех физических наук, новыми озаренная лучами, пролияла свет свой и на

самую минералогию, тогда соделалась она наукою твердою, постоянною, основательною, полезною фабрикам, ремеслам, художествам и искусствам, новые способы к удовлетворению нужд человеческих открывающею» (Севергин, 1807, стр. III и IV). Севергин, выполнив завещание Ломоносова, опубликовал первый большой труд по региональной минералогии России (1809).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ УЧЕНИЯ О РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Рост металлургического производства и добыча полезных ископаемых требовали усиления научных исследований в области геологии рудных месторождений, минералогии, горного дела и др. Усилился интерес к изучению генезиса условий залегания, форм и вмещающих пород рудных месторождений.

В 1725 г. немецкий ученый И. Генкель в работе «Пиритология» объяснил образование металлоносных жил отложением из паров, образованных брожением в земной коре. К. Ф. Циммерман в 1746 г. впервые высказал идею о том, что рудные жилы произошли за счет изменения вмещающих пород, из которых подземные воды выщелачивали металлы и отлагали их в трещинах по пути циркуляции. Это было прообразом латераль-секреционной гипотезы, подробно разработанной Зандбергом в последней четверти XIX в.

В 1753 г. преподаватель минералогии в Берлине И. Г. Леман утверждал, что рудные жилы отложены в трещинах парами, прорывающимися из недр Земли. Леман сравнивал рудные жилы с ветвями дерева, растущего из глубин Земли.

М. В. Ломоносов в 1757 г. говорил о происхождении рудных месторождений в «Слове о рождении металлов от трясения Земли» (Ломоносов, 1954, стр. 295). Он высказал идею о связи рудных жил с подземным жаром и переносе металлов в парообразном состоянии под действием внутриземного тепла, а также растворения рудных минералов подземными водами и переотложении рудного вещества в трещинах и пустотах горных пород.

В 1763 г. вышел из печати труд Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел». Приложением к этой работе был трактат «О слоях земных».

Работы Ломоносова широко распространились по горнометаллургическим предприятиям России и служили практическим руководством при поисках рудных и нерудных полезных ископаемых. Ломоносов дал четкое определение рудному веществу: «Рудою называется смешанная из двух или многих минералов материя» (Ломоносов, 1954, стр. 423).

М. В. Ломоносов разработал теорию о происхождении минеральных жил и выделил четыре генетических типа рудных месторождений: «Первое, рудные жилы, которые ни что иное суть, как в горах щели, разные минералы и руды в себе содержащие. Положение их почти бесконечно разнятся, по разности сторон, в кои простираются, и по наклонении к горизонту. Второе, слои в горах горизонтальные. Третие, гнездовые руды. Четвертое, на поверхности земной находящиеся; как золото содержащей в себе песок, оловянные в Англии руды; болотные и полевые руды железные, которых в России, в Швеции и Финляндии довольно» (Ломоносов, 1954, стр. 324). Особое внимание Ломоносов уделял первому генетическому типу рудных месторождений. Он предложил четкое понятие рудной жилы: «гора состоит из серого кремнистого камня, а щель имеет наполненную светлою свинцовою рудою. Сия щель называется жила свинцовой руды» (там же, стр. 433).

М. В. Ломоносов поднял ряд очень важных вопросов происхождения и практической оценки рудных месторождений. Он первый указал на оседание поверхности над сульфидными месторождениями (ныне зоны окисления). Ему принадлежит идея о происхождении россыпных месторождений золота, оловянного камня и их связи с древней или современной речной системой. Это учение лежит в основе современных представлений об образовании россыпных месторождений. Теория образования россыпей уточнялась в деталях, но суть ее остается той же.

По представлениям Ломоносова, рудные жилы произошли от землетрясения. Он считал, что в недрах Земли загорелось большое количество серы, от тепла которого поднимается и трясется Земля, образуются щели и заполняются рудным веществом. Выполнение трещин, по Ломоносову, происходит при участии атмосферных вод: «Между тем дождевая вода сквозь внутренности горы процеживается, и распущенные в ней минералы несет за собою, и в оные расселины выжиманием или капаньем вступает; каменную материю в них оставляет таким количеством, что в несколько времени наполняет все оные полости» (Ломоносов, 1954, стр. 344). Подтверждение этих выводов Ломоносов находит в старых заброшенных рудниках и горных выработках, в которых оставленная крепь, инструменты и другие предметы покрываются пленкой рудных минералов. Ломоносов описал и другой процесс образования рудных минералов, впоследствии получивший наименование пневматолитического. Он писал: «Во-первых, по общему рудокопов согласию известно, что в рудниках некоторые пары, серными и арсеникальным духом противные, хотя, и растущую на стенах каменную материю, что из горы выжимается с водою и твердеет, напаяют так, что она, получив металлическую светлость, руды имя получает» (Ломоносов, 1954, стр. 336).

В основе учения о рудных месторождениях, впервые разработанного Ломоносовым, лежит понятие возраста жил. Он отмечал, что рудные жилы образовывались не одновременно, что подтверждается их взаимным пересечением, швами между жилами и пустыми безрудными — трещинами. В работе о рудных месторождениях Ломоносов выделял несколько генетических типов месторождений, дал четкую характеристику пластовых осадочных месторождений, образовавшихся одновременно с вмещающими их породами, и рудных жил, секущих пласты осадочных горных пород. Он отмечал, что трещины в земной коре выполняются рудными минералами из растворов.

Научные труды Ломоносова по геологии, минералогии и рудным месторождениям были широко известны его современникам в Италии, Франции, Англии, Германии и других европейских странах. Однако впоследствии эти труды были забыты, и имя Ломоносова в работах зарубежных ученых по геологии почти не упоминалось.

В первой половине XVIII в. среди отдельных ученых Швеции и других стран распространилась теория о водном происхождении ряда горных пород и минералов. В 1722 г. Э. Сведенборг приписал шведским траппам осадочное происхождение, а в 1756 г. К. Линней повторил эту идею по отношению к кеникульским траппам (Швеция). В 1769 г. шведский химик-минералог Т. Бергман высказал идею о водном происхождении кристаллических пород (граниты, базальты, гнейсы и др.). Эти работы явились теоретической основой для создания школы нептунистов.

Развивая идеи немецкого ученого К. Ф. Циммермана о происхождении рудных жил, его соотечественник К. Т. Делиус в книге «Рассуждение о происхождении гор и находящихся в них рудных жилах», изданной в 1770 г. в Германии, относил образование трещин за счет «высыхания и по-

следующего смачивания» горных пород. Выполнение образовавшихся трещин минеральным веществом происходило из атмосферных вод, просачивавшихся через горные породы, растворявших минералы и переносивших их в виде раствора. В. Прайс в 1778 г. развил эту идею и утверждал, что минеральное вещество осаждается в трещинах из водных растворов.

А. Г. Вернер считал, что рудные жилы образовались из водных растворов первичного океана и выполнили трещины сверху. Граниты, гнейсы, кристаллические сланцы, базальты Вернер (Werner, 1791) считал отложившимися из водных растворов в ранней стадии истории Земли.

Д. Геттон утверждал, что граниты, базальты и другие изверженные породы внедрились в комплекс осадочных толщ в расплавленном состоянии и произвели их метаморфизацию. Геттон в 1788 г. придавал особое значение сульфидным и жильным месторождениям, происхождение которых он связывал с глубинными процессами, но отрицал наличие водных растворов, генетически связанных с эндогенными процессами; кристаллизация изверженных пород и сульфидных руд происходили из относительно сухих расплавов, в которых вода почти не играла роли.

Ближайшие ученики Вернера — Л. Бух, А. Гумбольдт, Добюиссон де Вуазен и другие изучали геологическое строение Италии, Франции, Норвегии и нигде не находили подтверждения взглядов своего учителя. Они вынуждены были отказаться от теоретических положений Вернера и признать магматическое происхождение гранитов и генетически связанных с ними рудных месторождений.

Еще в период широкого распространения теории Вернера среди отдельных ученых пользовалось большим вниманием предложение Р. Декарта об образовании рудных жил путем выноса материала из подкоровых оболочек Земли и отложении его в трещинах пород.

В 1788 г. Ф. Берольдинген считал, что образование ртутных (киноварь) месторождений объясняется сублимацией (пневматолизом) от расплавленных пород, скрытых в недрах Земли. В 1783 г. Д. Доломье указал, что действия теплоты недостаточно для текучести магмы и утверждал, что в магме должен находиться компонент, который придает ей высокую подвижность. Он считал, что им может быть сера.

В последней четверти XVIII в. Россия заняла первое место в Европе по производству железа. Значительное его количество вывозилось в Англию и ряд других европейских стран. В связи с усиленным развитием металлургической и горной промышленности на Урале, Алтае и других районах России выросла острая проблема специалистов металлургов, горняков, геологов. Уральские горнопромышленники проявили инициативу, и по их просьбе в 1773 г. в Петербурге было открыто высшее Горное училище (ныне Горный институт). Значительная часть преподавателей Горного училища обучалась во Фрейберге. Таким образом, теоретические основы нептунизма проникли в Россию, но им не суждено было пустить здесь глубокие корни. Русские геологи постепенно освобождались от идей нептунизма под влиянием наблюдаемых фактов.

Признание и распространение идей плутонистов в области учения о рудных месторождениях шли очень медленно. Английский последователь Д. Геттона Д. Плейфер повторил его теорию происхождения рудных жил. Однако влияние нептунистов, поддерживаемых служителями церкви, было широко распространено в европейских странах.

В общем, следует отметить, что борьба концепций нептунизма и плутонизма, характерная для геологии конца XVIII и начала XIX в., отражалась и на учении о рудных месторождениях

НАКОПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ О НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учение о нерудных полезных ископаемых может рассматриваться как практическая часть петрографии и отчасти минералогии. Неметаллические полезные ископаемые, как правило, являются теми же горными породами, которые встречаются повсеместно, но характеризующимися некоторыми специфическими свойствами, особенно ценными при практическом использовании данной горной породы. В качестве примера укажем на использование глин в керамике. Почти каждая глина сейчас может рассматриваться как полезное ископаемое, но в большинстве случаев она идет только как крайне грубый материал вместе с песком на дорожные и другие инженерные сооружения. Материалы, более богатые монтмориллонитом (но до известных пределов), используются в кирпичном производстве. Существенно монтмориллонитовые глины могут рассматриваться как гончарное и черепичное сырье, и только исключительно своеобразные чисто монтмориллонитовые глины могут дать черно- и краснофигурную керамику прошлого. Тогда были разработаны специальные приемы обогащения глины и ее подготовки к использованию. Наконец, только маложелезистые каолиновые глины могут служить компонентами фарфоровых и фаянсовых керамических масс.

В поисках того или иного вида неметаллического полезного ископаемого используется, как правило, вся сумма наших знаний, так как только в этом случае могут быть найдены нужные разности горных пород или минералов. Тем не менее в истории изучения неметаллического сырья чаще имело место обратное соотношение. Практическим работникам удавалось находить в том или ином районе, чисто совершенно случайно, породу, особенно удобную для целей какого-либо производства, и только потом исследователи-теоретики изучали эту породу, выявляли ее особенности, и уже на основе этих данных велись поиски новых подобных разностей горных пород. В процессе поисков, обычно создается теория формирования важнейших свойств промышленных минералов или пород. Так, на основе изучения соляных месторождений создавался Я. Г. Вант-Гоффом, а позднее Н. С. Курнаковым физико-химический анализ, с помощью которого были усовершенствованы методы добычи и очистки солей и открыты многие новые месторождения. Изучение поведения камня в сооружениях, разработка оценки строительного камня при его поисках привели в начале нынешнего столетия к конструированию испытательных приборов, а сейчас вылились в специальную дисциплину — петрофизику, которая является одной из ведущих петрографических дисциплин, позволяющих делать прогнозы свойств земной коры и мантии. Подобных примеров можно привести очень много, но путь их один — от открытия полезных свойств некоторой горной породы к познанию ее особенностей, затем к созданию общей петрографической или минералогической теории и, наконец, к открытию новых месторождений.

Поскольку история развития общей петрографии, литологии и минералогии рассматривается в других разделах, в данном разделе нам остается рассматривать историю изменения взглядов на горные породы как полезные ископаемые и историю последовательного вовлечения горных пород в промышленное использование.

Начавшийся после эпохи Возрождения промышленный подъем к началу XVIII в. достиг довольно высокого уровня. В период второй половины этого века велась добыча многих видов неметаллических ископаемых. Для этого времени характерна также широкая торговля неметаллическим

сырьем, хотя в силу дороговизны перевозок осуществлялась торговля только некоторыми, наиболее ценными видами, которые выгодно перевозить; более же обычные виды сырья получались на месте или заменялись местными, менее качественными видами сырья.

Наиболее важным и широко используемым в торговле и народном хозяйстве химическим сырьем была в эти годы поваренная соль. Главная масса соли добывалась из озерной или морской воды на многочисленных выпаривательных установках, действовавших еще с доисторического времени. Большую роль играло выпаривание воды минеральных источников. В России солнечные выпаривательные бассейны заменялись соляными варницами. Меньшей была добыча каменной соли. Древние соляные рудники известны в Персии и Индии; в Европе издавна разрабатывались соляные рудники близ Кракова в Польше, ряд неглубоко залегавших германских рудников, рудники Франции и Испании. Однако общая доля каменной соли в соляной промышленности была невелика.

Усиленно разыскивалась сера для приготовления пороха. Идущая в тот же порох селитра добывалась главным образом из органических продуктов (переработка навоза). Равным образом, за счет растительной зоны, получались все используемые щелочи.

Основным видом вяжущих во второй половине XVIII в. продолжала оставаться гидравлическая известь; иногда, в случае благоприятных природных условий, производился роман-цемент. В известь и цемент, опять-таки при благоприятных условиях, вводились пуццоланические добавки (например, в Италии). Во многих странах (особенно в Средней Азии и Закавказье, Турции и Иране) использовались гипсовые и глино-гипсовые вяжущие, особенно глино-гипсовая (гянч, гажа и т. д.) штукатурка.

Большое искусство керамики, возникшее еще в древности, продолжало развиваться. Хотя многие виды керамических продуктов оказались утерянными, а рецепты забытыми, тем не менее основы керамики сохранились и даже совершенствовались. Из числа забытых керамических отраслей следует упомянуть греческое искусство лаковой (красной и чернофигурной) керамики и искусство восточных изразцов, многие цвета которых, а в особенности общая структура древнего изразца, до сих пор не расшифрованы и не могут быть полностью восстановлены (Селезнев, 1894).

Особенное внимание во второй половине XVIII в. привлекало искусство фарфора, и для этого были соответствующие исторические предпосылки. Как известно (Безбородов, 1950) искусство фарфора возникло в Китае (VI—VIII вв. н. э.). В районе г. Цитаджен (ныне Цзиндэчжэнь), где существовали благоприятные природные условия, имелось большое количество месторождений пластичных осадочных беложгущихся глин, особенно месторождений так называемого фарфорового камня — серицито-кварцевого мелкозернистого аплита, отмечалось широкое развитие древних кор выветривания на лейкократовых гранитах. Древний китайский фарфор по составу вполне соответствовал фарфоровому камню. Впоследствии, однако, к дробленному фарфоровому камню в фарфоровую шихту стали добавлять дресву лейкократовых гранитов. Характерно, что исключительно слабая пластичность китайской фарфоровой шихты обусловливала своеобразную технологию изготовления изделий. Их не только можно было лепить, но и больше вытачивать стамесками из заготовки.

Китайский фарфор в довольно больших количествах ввозился в Европу (Гмелин, 1731). Естественно, здесь начинались попытки как-либо имитировать китайские товары. В конце XVII в. известный успех был достигнут во Франции, где изготовили так называемый «Реомюров фарфор» — затухшее стекло, имитирующее керамические материалы. Но только в самом начале

следующего столетия в Саксонии был изобретен[1] европейский фарфор. Изобретателем фарфора считается И. Бетгер, прусский алхимик, находившийся на службе у саксонского короля Августа Сильного. Первые фарфоровые изделия И. Бетгер демонстрировал королю в 1709 г.; этот год считается годом рождения европейского фарфора и годом основания существующей до сих пор Саксонской Мейсенской фарфоровой мануфактуры.

Изготовлению фарфора в Саксонии, видимо, предшествовали большие исследовательские работы самого Бетгера и, как отмечают, придворного физика Саксонского короля Э. В. Чирнгхауза, консультировавшего Бетгера и впервые изготовившего фарфороподобный продукт. Изобретению фарфора в Саксонии, безусловно, способствовали природные условия. Саксония расположена в районе широкого развития древней коры выветривания. Непосредственно в районе Мейсена выходят каолины, образовавшиеся за счет выветривания порфиров цехштейна. Низкие горизонты коры выветривания этих цехштейновых пород, где наряду с каолином еще сохраняются компоненты свежих полевых шпатов, представляют собой почти готовую фарфоровую шихту; этот материал, добываемый близ Зейлица (пригород Мейсена), используется и сейчас для изготовления особо качественного фарфора. В районе Мейсена известны также и крупные месторождения беложгущихся каолиновых глин (лотхеймские глины), которые добывались во времена Бетгера и эксплуатируются в настоящее время.

Изготовление фарфора в Саксонии, поскольку рецепты сохранялись в тайне, вызвало большое число работ по технологии изготовления фарфора и поискам сырья, необходимого для фарфора. Фарфоровое производство в середине XVIII в. было организовано в Вене (Австрия) и Венеции. Во Франции производился мягкий бескаолиновый фарфор, затем костяной фарфор, в котором использовались каолин и жженая кость. Позднее возникло фарфоровое производство в Англии, где были открыты крупнейшие разрабатывающиеся до сих пор каолиновые месторождения Корнуолла. Тогда же было организовано фарфоровое производство в Дании, Швеции и Бельгии. К концу XVIII в. фарфор стал производиться в Швейцарии и Чехии.

Русский фарфор был создан одним из первых, после саксонского (1744—1747 гг.), и появился в результате весьма интенсивных исследовательских работ Д. И. Виноградова, товарища М. В. Ломоносова по учебе и его большого друга. Д. И. Виноградовым были изучены многие русские глины, причем им были открыты каолины Урала (чебаркульские глины), изучены свойства глин Гжельского района, юга Карелии и Украины, впервые организовано отмучивание каолинов. Работы Д. И. Виноградова лежат в основе производства фарфора в России в течение последующих 50—70 лет.

Развитие металлургического производства в середине XVIII в. и совершенствование металлургических печей привели к резкому повышению требований к огнеупорному материалу. Возникает производство искусственных огнеупоров, в первую очередь шамотных; начинаются поиски огнеупорных глин. К этому времени относится ряд открытий крупных месторождений огнеупорных глин в ряде стран, в том числе в России.

Весьма интересна история графита, который хотя и был ранее известен как минерал, но практически использоваться стал только в XVII в. для изготовления карандашей, когда были открыты крупные английские Кумберлендские месторождения. Первоначально графитовый стержень для карандаша вырезался из сплошного графита, поэтому требовался графит толь-

[1] Здесь сознательно использован термин «изобретен», поскольку приготовление фарфора в Европе было, безусловно, новым изобретением, так как сырые материалы и технология изготовления продукции в Европе были существенно иными, чем в Китае.

ко весьма высокого качества. На рубеже XVIII и XIX вв. графит стал вкладываться в деревянную оправу, и примерно в то же время в Чехии И. Гартмутом был изобретен способ получения пишущего графитового стержня не из чистого графита, а из смесей графита, пластичной глины, воска и различных жиров, что позволило использовать в производстве карандашей бедные, нуждающиеся в обогащении графитовые руды.

В начале XVIII в. резко усилилось внимание к асбесту, хотя этот минерал был известен с глубокой древности и широко эксплуатировался. Об изделиях из асбеста упоминается еще в древнеримских сочинениях, о нем пишет М. Поло (1935). Однако промышленности асбеста до XVIII в. не существовало. В XVIII в. были открыты месторождения асбеста в Канаде. К этому же времени относится и организация асбестового производства на Урале. Еще в 1720 г. крестьянин Софрон Сорга передал Акинфию Демидову асбест, найденный на р. Тагил, сообщение о котором появилось в 1728 г., тогда же из этого асбеста научились изготовлять изделия; в старых коллекциях Минералогического музея АН СССР хранятся асбестовые изделия, изготовленные примерно в это время.

Весьма интересно, что промышленное развитие в XVIII в. привело к уничтожению некоторых появившихся ранее горных промыслов, как, например, добычи слюды. Начавшаяся еще в XV—XVI вв. в Карелии добыча крупной слюды для оконниц и фонарей была в XVII в. вначале весьма развитым промыслом (Борисов, 1948). Слюда широко экспортировалась за рубежи России (отсюда название «мусковит» — московское стекло). В середине XVII в. к карельскому слюдяному промыслу присоединился еще и сибирский; слюда была найдена в районе дер. Тасеевой и в Мамской тайге. Развитие производства дешевого листового стекла лишило слюду потребителя, и слюдяной промысел перестал существовать более чем на двести лет.

Во второй половине XVIII в. продолжалось широкое использование естественного камня в строительстве, причем использовался как штучный, так и бутовый камень. Никаких исследований камня перед его использованием не проводилось. Эксплуатировались преимущественно старые каменоломни, зарекомендовавшие себя еще в исторические времена. Для России в это время большое значение приобрели каменоломни, расположенные близ строящегося Петербурга, особенно ломки рапакиви в окрестностях Выборга, гранитов на Ладожском и Онежском озерах. Изучались каменные ресурсы Урала для строек местных горнозаводских поселков (Азанчеев, 1894).

В течение всего XVIII столетия у европейской знати сохранялась мода на драгоценный и цветной камень (Ферсман, 1954, 1961), используемый в украшениях, отделке оружия и различных крупных поделках. По-прежнему основным источником драгоценного камня являлись копи Востока; россыпи Индии, Цейлона и Бирмы давали главную массу поделочного и цветного камня. Из Бадахшана в Европу и Россию поступало большое количество прекрасного лазурита. В Чехии велась небольшая добыча граната, который был открыт еще в XIII в., а в Словакии — известного издавна благородного опала («венгерский опал»). Продолжали работы камнерезные мастерские Идар-Оберштейна, основанные еще в XV в.

Вместе с широкой покупкой привозного драгоценного цветного камня королевские и княжеские дворы начали организацию поисков новых месторождений. Давались первые минералогические описания важнейших камней и месторождений.

В Саксонии такие поиски привели к открытию в 1737 г. крупных месторождений желтого топаза, которые стали интенсивно эксплуатироваться и к середине века были уже выработаны. Менее заметной была находка в этой же стране аметистовидного кварца.

Замечательные находки принесло изучение Америки. В первую очередь здесь должно быть упомянуто открытие алмаза в Бразилии, за которым пришел в Европу большой поток бразильских самоцветных камней начиная от агата и горного хрусталя и кончая топазом, бериллом и др.

Большое впечатление в Европе произвело открытие в 1775 г. лабрадора как поделочного камня. Лабрадор, обладающий переливчатыми цветами, очень быстро вошел в моду и ценился весьма высоко.

В 1774 г. вновь открываются (известные ранее местным жителям — маори) месторождения нефрита в Новой Зеландии, и этот камень начинает поступать, наряду с китайским и бразильским камнем, на европейские рынки.

Замечательные открытия драгоценных камней были сделаны в России. Поиски цветного камня здесь стали делом государственной важности, поскольку цветной камень шел на украшение дворцов и для нужд двора. Были посланы экспедиции для поисков камня, организованы камнерезные (гранильные) фабрики. В 1725—1735 гг. была поставлена Петергофская гранильная фабрика, которая впоследствии, в 1748—1774 гг., перестраивалась и увеличивалась.

В Екатеринбурге обработка камня была начата еще в 1724 г., но гранильная фабрика официально была открыта только в 1765 г.

Позднее, в 1787 г., была заложена третья гранильная Колыванская фабрика, специализировавшаяся на производстве крупных изделий из местной яшмы.

Еще в 1668 г. Дм. Тумашов подал заявку на открытие цветного камня в окрестностях Мурзинского острога, но добыча камня здесь началась позднее; на широкую разработку мурзинских месторождений указывается в 60-х годах XVIII в.

Во второй половине XVIII в. продолжалось открытие богатств Урала. В 1780—1785 гг. в Ильменских горах приискателем Раздеришиным были открыты амазонит и топаз. Несколько ранее были открыты и месторождения орлеца; по крайней мере получение с Урала крупного орлецового торшера в Эрмитаже датировано 1775 годом. В самом конце XVIII в. одна за другим открываются месторождения уральских яшм.

Открытие уральского малахита, видимо, было сделано еще в XVII в. Известно, что А. Демидов посылал Петру I образцы малахита, однако в течение последующих ста лет малахит почти не добывался. Основная добыча его относится уже к началу XIX в.

Цветные камни Забайкалья были открыты по крайней мере в начале XVIII в., так как проезжавшие здесь во второй половине этого века П. Паллас и И. И. Георги уже слышали о них.

К 1784—1785 гг. относится открытие Э. Лаксманом месторождений байкальского лазурита; сообщение о нем появляется в печати в 1786 г.

Основные итоги исследований, проводившихся в XVIII в., сводятся к познанию топографической минералогии (Севергин, 1798, 1809) и выявлению новых возможностей использования минерального сырья в промышленности (Севергин, 1821). Однако следует указать, что основной промышленный подъем еще не начался, и пока еще не было широкого использования неметаллических природных ресурсов.

* * *

В рассматриваемый период в геологии доминировала идея о развитии Земли. «Теории Земли» были созданы Бюффоном, Кантом, Ломоносовым. Середину XVIII в. можно считать началом развития геологии как науки.

3

ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОСНОВНЫХ ОТРАСЛЕЙ ГЕОЛОГИИ (XIX в.)

*

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОИСХОЖДЕНИИ И СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

Большое значение для проблем общего строения Земли имела космогоническая гипотеза П. С. Лапласа. Она была сформулирована им в седьмом примечании ко второму тому «Изложения системы мира», опубликованному в 1796 г. Лаплас предположил, что первоначально вокруг Солнца существовала газовая масса, нечто вроде атмосферы. Эта атмосфера была так велика, что простиралась за орбитой всех планет. Вся масса вращалась вместе с Солнцем (о причине вращения Лаплас не говорит). Затем, вследствие охлаждения, в плоскости солнечного экватора образовались газовые кольца. Они распались на несколько сфероидальных частей — зародышей будущих планет, которые начали вращаться по направлению своего обращения вокруг Солнца. При дальнейшем охлаждении внутри каждой такой части образовалось ядро, и планеты перешли из газообразного в жидкое состояние, а затем начали затвердевать с поверхности.

Гипотеза Лапласа развивала и дополняла учение И. Канта. В обобщенном виде эти представления получили название гипотезы Канта — Лапласа, которая утвердилась в науке в начале XIX в. и безраздельно господствовала почти столетие.

Однако по вопросу о дальнейшем преобразовании Земли и современном состоянии ее недр существовали различные мнения. Наиболее распространенными были представления об огненно-жидкой массе внутри Земли, прикрытой тонкой корой, и об активном, снизу вверх, воздействии расплава на земную кору. Здесь как бы слились два направления научной мысли: идея о центральном огне, появившаяся в первой половине XVII в., и идея развития Земли как планеты, характерная для второй половины XVIII в. Эти представления, получившие название гипотезы флюидизма, стали господствующими в XIX в. и лишь несколько усложнились к концу рассматриваемого периода.

Гипотезы флюидизма придерживались главным образом геологи, так как положения ее, как казалось, подтверждались геологическими явлениями, наблюдавшимися на поверхности Земли. Извержения, землетрясения, горообразование, изверженные горные породы считались результатом активного воздействия внутреннего расплава. Наглядным доказательством его существования считалось также увеличение температуры при углублении в земные недра.

О составе и строении земной коры делались заключения на основе изучения геологических структур, складчатости, стратиграфической последовательности слоев и изучения минералов и горных пород. Геологические представления как бы сузились и свелись к изучению лишь земной коры.

На представлениях об огненно-жидкой или вязкой массе внутри Земли были основаны гипотеза поднятия, контракционная гипотеза, гипотеза изостазии, а также учение о геосинклиналях, ряд положений теоретической петрографии и т. д.

По мнению А. Гумбольдта, существование огненно-жидкого расплава внутри Земли доказывается извержениями вулканов. Твердая земная кора отделяет окружающий ее насыщенный кислородом воздух от внутреннего неокисленного расплава. Сжатые пары выталкивают по трещинам окисляющуюся, расплавленную массу, поэтому вулканы, через которые она выливается, можно назвать «внутренними источниками». Профессор Петербургского университета Д. И. Соколов отметил, что «Земля наша представляет шарообразное тело, состоящее из твердой скорлупы и огненно-жидкого ядра» (Соколов, 1889, стр. 10). Так же представляли себе строение Земли профессор Фрейбергской горной академии Б. Котта (Cotta, 1852), английский геолог А. Гейки (1875), немецкий геолог Ф. Пфафф (Pfaff, 1873) и многие другие. Известный немецкий геолог и палеонтолог К. Циттель (1873) считал, что доказательством прежнего огненно-жидкого состояния Земли является ее шарообразная форма, приближающаяся к форме сферической капли. Затвердевание началось с поверхности, в образовавшейся коре металлы располагались соответственно удельному весу.

Приведенные примеры показывают, насколько простым и ясным представлялось геологам строение Земли. Сторонники гипотезы флюидизма были также среди астрономов и физиков, искавших подтверждение своих взглядов в физических и астрономических данных. Так, астрономы Д. Араго и Ж. Фурье считали, что Земля покрылась тонкой корой вследствие остывания, которое, по астрономическим данным, происходило весьма медленно. Французский физик А. Перрей считал, что периодичность землетрясений, соответствующая лунным фазам, доказывает существование жидкого расплава внутри Земли.

Однако постепенно эти простые представления несколько усложнялись. Во второй половине XIX в. появились и все больше утверждались представления о вязком состоянии земных недр, или о вязком подкорковом слое. Американский геолог Д. Дэна исходил, как и другие его современники, из гипотезы Канта — Лапласа. Однако он считал, что затвердевание Земли должно было происходить в виде двух, одновременно идущих процессов: затвердевания центральной ее части вследствие огромного давления и затвердевания коры вследствие охлаждения. Между образовавшимся ядром и корой остается слой вязкой массы, наличие которой доказывают крупные колебательные движения на континентах. При продолжении затвердевания земная кора утолщалась, а ядро увеличивалось, и местами кора смыкалась с ядром, причем оставались лишь местные «огненные моря». Таким образом, Земля становилась все более жесткой, и в настоящее время невозможны такие колебания земной поверхности, какие были в прежние геологические периоды (Dana, 1873).

К представлениям о промежуточной вязкой оболочке Земли пришел геолог А. Лазо. По его мнению, процесс отвердевания огненно-жидкой Земли шел двояким путем: твердое ядро увеличивалось за счет скопления опускавшихся вниз тяжелых металлов, а кора утолщалась при охлаждении за счет накопления тугоплавких веществ с низким удельным весом. Между корой и ядром оставалась, по мнению А. Лазо, промежуточная зона, по-видимому

оливинового состава (Lasaulx, 1882). Представления Лазо были основаны на новых данных измерения плотности Земли, а также на представлениях теоретической петрографии (см. ниже). Вместе с тем появление представлений о подкоровом вязком поясе вполне согласовывалось с возникшей в конце XIX в. гипотезой изостазии.

Возможность существования вязкого подкорового материала допускал также А. А. Иностранцев (1885—1887), И. В. Мушкетов (1891) и ряд других исследователей конца XIX в. Так взаимосвязанными оказывались развитие геологии и представления о внутреннем строении Земли.

Наряду с гипотезой флюидизма во второй четверти XIX в. начала развиваться гипотеза твердого состояния Земли, или гипотеза ригидизма. Сторонниками ее были главным образом представители «точных» наук. Так, в работе 1835 г. французский физик С. Пуассон доказывал, что отвердевание Земли при переходе ее из огненно-жидкого в твердое состояние должно было бы начаться с центральных частей, поэтому ядро Земли твердое. Английский физик В. Гопкинс (Hopkins, 1839), исследуя явления прецессии, т. е. изменения направления земного сфероида, и нутации, т. е. величины этого смещения, пришел к заключению, что Земля представляет собой совершенно твердое тело, и толщина ее коры должна быть не меньше $^1/_4$ земного радиуса. Расплавленная огненно-жидкая масса могла, по Гопкинсу, оставаться внутри Земли в виде отдельных очагов. В дальнейшем взгляды Гопкинса были использованы А. Штюбелем и другими вулканологами. Горы, по мнению Гопкинса, были подняты вследствие давления упругих паров, заключенных внутри Земли.

Соотечественник Гопкинса физик В. Томсон пришел к заключению на основании исследования приливных волн о состоянии Земли как абсолютно твердого тела. Сжатие Земли у полюсов, которое приводилось обычно как доказательство жидкого состояния недр Земли, не опровергало (Thomson, 1864) его гипотезы, так как для этого явления оказывалось достаточным даже той небольшой степени пластичности, которую имеют твердые тела.

Представления о твердой Земле были существенно подкреплены трудами известного английского астронома Дж. Дарвина (сына Ч. Дарвина), работы которого относятся к 1870—1880 гг. Его доказательства также были основаны на изучении приливов и явлений прецессии и нутации. Дарвин считал, что Земля была прежде в расплавленном состоянии, о чем свидетельствует ее сферическая форма. Однако в настоящее время внутри Земли господствует не только высокая температура, но и громадное давление, вследствие чего состояние ее недр твердое, но вместе с тем вязкое. Такая масса может медленно деформироваться под влиянием непрерывно действующих сил. Последнее предположение вполне согласовывалось с отмеченными выше высказываниями геологов о вязком подкоровом слое, которые представляли собой усложнение и развитие гипотезы флюидизма. Сторонниками гипотезы ригидизма были многие астрономы конца прошлого столетия, например русский астроном Ф. А. Бредихин и др.

Развитием обеих рассмотренных выше гипотез является представление о твердом, но вместе с тем газообразном состоянием недр Земли, это представление было связано с успехами химии и работами по исследованию свойств газов, относящимися ко второй половине XIX в. Такие взгляды развивали немецкий геофизик К. Цёппритц, известный швейцарский физико-химик С. Аррениус и др. Важно отметить, что к подобной точке зрения о газовом ядре Земли при наличии, однако, подвижного, подкорового слоя приходили и некоторые геологи (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, И. Д. Лукашевич).

Гипотезы флюидизма и ригидизма исходили из представления о физическом состоянии недр Земли. Наряду с этим в XIX в. развивались и представления о химическом составе Земли, а именно о ее железном ядре, а также об

аналогии химического состава Земли с составом метеоритов. Эти представления исходили из гипотезы Канта — Лапласа и вместе с тем связывались с геологическими фактами.

В начале XIX в. предположение о железном ядре Земли высказывали немецкие ученые Г. Штеффенс, К. Шмидер и К. Гофф. Большой популярностью пользовалась также гипотеза английского химика Г. Дэви, согласно которой Земля имеет металлическое ядро, причем металл находится в неокисленном состоянии. При соединении с водой металлы окисляются с большим выделением тепла, причем на поверхности ядра образуется окисленная земная кора. Выделяющиеся при окислении пары и газы сотрясают земную кору и вызывают землетрясения. Представления о химическом составе земной коры, т. е. химизме горных пород и о составе Земли в целом, имело большое значение для развития геологии.

Представления об аналогии химического состава Земли с составом метеоритов были высказаны впервые в 1794 г. чешским ученым Э. Ф. Хладни, а в 1866 г. французский геолог А. Добре высказал предположение, что метеориты являются осколками какой-то распавшейся планеты, и ядро Земли, так же как железные метеориты, состоит из никелистого железа. Эту гипотезу поддерживали в 1877 г. Д. И. Менделеев, в 1896 г. французский геолог С. Менье и ряд других ученых. Важно отметить, что эти предположения, как и все другие, основывались на гипотезе Канта — Лапласа и представлениях о жидком или тестообразом подкоровом веществе.

Итак, на основании приведенных данных мы можем еще раз подчеркнуть, что основой геологических воззрений в XIX в. были представления о происхождении Земли из раскаленной газовой туманности и последующем охлаждении, в соответствии с гипотезой Канта — Лапласа, и представления об общем строении Земли как об огненно-жидкой массе, прикрытой тонкой земной корой, или (в конце рассматриваемого периода) о жидкой или вязкой подкоровой массе, расположенной между корой и ядром. Гипотеза ригидизма — твердого состояния Земли — не была принята большинством геологов, и предметом изучения геологии оказалась лишь кора. Доминирующее значение основной идеи об общем строении Земли дает основание выделить весь XIX в. как особый период в развитии геологии.

Вместе с тем этот общий период достаточно ясно разделялся на два подпериода, условно охватывающих первую (до 1860-х годов) и вторую половины XIX в. (см. введение).

А. РАЗВИТИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ОТРАСЛЕЙ ГЕОЛОГИИ (ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА XIX В.)

БОРЬБА ИДЕЙ В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Первая половина XIX в. характеризуется исключительно бурным развитием геологии. Если на предыдущем этапе усилия ученых были направлены на создание общей теории Земли, то в начале XIX в. геологические исследования имели большую практическую направленность. Это было связано с изменением общественных условий, зарождением капиталистических отношений в ряде стран и усилением потребности в полезных ископаемых.

Детальное изучение геологических явлений и структур привело к детализации знаний, а отсюда и к началу выделения в геологической науке ряда отраслей. Исследование таких месторождений пластового типа, как залежи

каменного угля, привело к развитию стратиграфии; изучение вулканов, землетрясений и складчатых структур, при условии принятия предположения о расплавленной внутренности Земли,—к возникновению гипотезы «кратеров поднятия» (см. ниже) и формированию геотектоники; изучение изверженных горных пород — к дальнейшему развитию и обособлению петрографии; самостоятельным становится учение о рудных месторождениях, продолжает развиваться минералогия.

Следует отметить, что на каждом этапе развития геологии достаточно ясно выделяются отдельные ее отрасли, занимающие положение ведущих. Наиболее древней из всех отраслей геологической науки является минералогия, именно ее описательное направление. Минералогия являлась ведущей в период накопления геологических знаний. Для второй половины XVIII в., в связи с утверждением идеи развития и стремлением создания общей теории Земли, трудно выделить какую-либо ведущую отрасль геологии, но во всяком случае наиболее развитой продолжала оставаться минералогия.

Для первой половины XIX в. возникновение палеонтологического метода, давшего научную основу для развития стратиграфии, и доминирующее положение гипотезы флюидизма, послужившее основой для развития геотектонической гипотезы кратеров поднятия, определили ведущее значение двух новых отраслей геологической науки: стратиграфии и геотектоники.

Для этого времени характерна также борьба различных направлений и течений в геологии.

Начавшаяся еще в конце XVIII в. борьба нептунизма и плутонизма продолжалась и в первой половине XIX в., причем в первой его четверти перевес оставался на стороне нептунистов. Это объясняется прежде всего продолжавшимися лекциями А. Г. Вернера, а также тем, что многочисленные слушатели Фрейбергской горной академии, воспринявшие идеи Вернера, разъезжались после окончания обучения по всем странам Европы и в свою очередь становились пропагандистами его учения. Несомненно, учение нептунистов как в начале, так и на последующем этапе его развития имело положительные моменты: представления об осаждении из воды и отложении осадочных пород, о последовательности образования их слоев явились основой для развития стратиграфии. Поэтому оценка роли нептунизма как только отрицательной, реакционной, которая нередко имеет место в нашей литературе, неправильна и преувеличена.

Представления Д. Геттона и его последователей о цикличности развития Земли, о воздействии внутреннего расплава на ее поверхность, о метаморфизме осадочных пород были более научны, больше отдалялись от «священного писания», чем положения нептунизма, и поэтому на рассматриваемом этапе развития науки были прогрессивнее. Однако слишком крайние убеждения вулканистов, основой которых служила лишь одна сторона развития Земли, в конце концов также привела их, как будет показано ниже, к реакционным взглядам о катастрофах в истории Земли, о потопах, уничтожавших все живые организмы и т. п.— словом, опять к догматам священного писания. Следует отметить, что наука в своем поступательном движении получает все рациональное, что содержит каждое учение и в каждой борьбе мнений поднимается на все более высокую ступень.

Основы нептунизма были несколько поколеблены еще в конце XVIII в. в знаменитом споре о базальте, когда вулканическое происхождение базальта было доказано работами Н. Демаре, В. М. Севергина и др. Развитию учения вулканизма способствовало утверждение в науке космогонической гипотезы Канта — Лапласа и связанные с этим представления о внутреннем строении Земли. Однако окончательная победа вулканизма была связана с работами учеников Вернера, а затем крайних вулканистов — Л. Буха и

А. Гумбольдта, научная деятельность которых относилась ко второй четверти XIX в. Изучение вулканов и признание большой роли, которую играют явления, связанные с эндогенными процессами в жизни Земли, позволило Буху сформулировать гипотезу «кратеров поднятия», а крайние вулканистические представления Гумбольдта, наряду с многими правильными наблюдениями и обобщениями, привели и к неверным выводам о вулканизме Средней Азии и наличии осевого поднятия Болор, якобы возникшего в этой горной системе. В действительности, как это было доказано позднейшими исследователями русских геологов (И. В. Мушкетов, Н. А. Северцев и др.), ни хребта Болор, ни вулканов в этой ее части не существует. О победе учения вулканизма в эти годы свидетельствуют, например, высказывания Д. И. Соколова, который еще в 1825 г. в статье в первом номере «Горного журнала» называл гипотезу Канта — Лапласа «исчадием разгоряченного воображения», а в 1839 г. в «Курсе геогнозии» утверждал, что Земля некогда находилась в огненно-жидком состоянии и что теперь под твердой корой Земли находится жидкое ядро.

Несмотря на явные преимущества вулканистической теории над нептунистической, учение вулканистов XIX в. значительно уступало учению Геттона, пытавшегося создать общую теорию Земли, основанную на ее длительном и непрерывном развитии, и отличалось своей односторонностью от концепции М. В. Ломоносова. Воззрения Л. Буха, Л. Эли де Бомона и других наряду с вулканистическими представлениями опирались на гипотезу катастроф. Именно в первую половину XIX в. вступила в наиболее острую борьбу другая группа течений — катастрофизм и эволюционизм.

Теория катастроф, как и многие другие теоретические представления, имела свои корни в учении античных мыслителей, предполагавших периодические катастрофы в истории Земли. При дальнейшем развитии науки оказалось невозможным сочетать библейское учение о кратковременности истории Земли с накопленными данными о смене геологических формаций и смене фаун, ископаемые остатки которых находили в слоях. Это несоответствие легко можно было объяснить с помощью идеи о катастрофах. Именно такое объяснение было предложено французским естествоиспытателем Ж. Кювье в его работе «Рассуждение о переворотах на поверхности Земли», опубликованной впервые в качестве введения к его книге (Cuvier, 1812). По мнению Кювье, каждый период в истории Земли завершался мировой катастрофой — поднятиями и опусканиями материков, наводнениями, разрывами слоев и т. д. В результате этих катастроф гибли организмы, и в новых условиях появлялись новые виды. Поэтому современные геологические условия и организмы совершенно не похожи на те, что были прежде.

Причины катастроф и возникновение новых видов Кювье не объяснял — они были «чудом». Теория Кювье была «революционна на словах и реакционна на деле», так как «делала из чуда существенный рычаг природы» (Энгельс, 1955, стр. 9).

Взгляды Кювье имели большое сходство, с одной стороны, с представлениями Палласа о наводнениях и мировых катастрофах, а с другой — с воззрениями дилювианистов о сроках существования Земли, согласованных со «священным писанием», и с представлениями о том, что геологические события в прошлом имели совершенно иной характер, чем в настоящее время.

Учение Кювье благодаря высокому научному авторитету его автора имело широкое распространение и многочисленных последователей. Так, французский палеонтолог А. Д'Орбиньи насчитывал 27 катастроф в истории Земли, в результате которых каждый раз создавались новые виды организмов.

Теория катастроф, связанная вначале с учением нептунизма, вскоре приобрела приверженцев и среди плутонистов. Так, Л. Бух, создавший гипотезу

горообразования, известную под названием гипотезы «кратеров поднятия», считал, что поднятие горных цепей происходило быстро, катастрофически, под давлением внедрявшихся снизу расплавленных масс. При этом происходили резкие разрывы пластов, излияния лав, наводнения. По мнению другого основоположника геотектоники — Эли де Бомона, образование гор также происходило одновременно, но в несколько этапов, причем все параллельные горные цепи на Земле оказались одновозрастными.

Теория катастроф, опиравшаяся на «священное писание», несомненно, была по своей сущности реакционна. Однако и в этой теории, как и в каждой другой, было свое рациональное зерно, которое могло быть использовано в поступательном движении науки. Работами Кювье было доказано прогрессивное усложнение строения живых организмов. Предположение Кювье о резкой смене фауны дало возможность выделить так называемые руководящие ископаемые для каждого геологического периода. Таким образом, исследования Кювье способствовали развитию палеонтологического метода в стратиграфии. Предположения Л. Буха и Л. Эли де Бомона о катастрофическом образовании горных цепей натолкнули на исследования тектонических несогласий и разрывных нарушений, что способствовало развитию структурной геологии и т. п.

Противоположная катастрофизму эволюционная теория также имеет глубокие корни. О постоянных изменениях в природе говорили еще античные мыслители. Идея развития прослеживается в трудах среднеазиатских ученых (Ибн-Сина, анонимные арабские ученые X в.), в работах Р. Декарта, Г. Лейбница, Р. Гука. Идея о развитии мира связана, как показано выше, с именами Ж. Бюффона, И. Канта и М. В. Ломоносова. Д. Геттон подчеркивал, что развитие Земли происходит в виде определенных циклов, по замкнутому кругу. Эволюция органического мира была показана Ж. Ламарком, который считал, что развитие и усложнение форм живых организмов связаны с изменениями природных условий. Однако эти мысли не получили в то время широкого распространения, так как встречали противодействия со стороны церкви.

Исключительно важную роль для развития эволюционного учения в геологии сыграла трехтомная книга «Основы геологии» английского естествоиспытателя Ч. Лайеля, опубликованная в 1830—1833 гг. На основании анализа большого фактического материала Лайелю удалось убедительно показать, что все изменения, которые произошли в течение геологической истории, происходили постепенно, под влиянием тех факторов, которые действуют и в настоящее время. Следовательно, для объяснения этих изменений совершенно не нужно прибегать к представлениям о грандиозных катастрофах — необходимо лишь допустить очень длительный срок существования Земли.

Учение Лайеля нанесло сокрушительный удар теории катастроф. Как подчеркивал Ф. Энгельс, «лишь Лайель внес здравый смысл в геологию, заменив внезапные, вызванные капризом творца революции постепенным действием медленного преобразования Земли» (Энгельс, 1955, стр. 9).

С именем Лайеля связана также разработка метода актуализма и гипотеза униформизма. Метод актуализма является важнейшим в геологии. Он заключается в том, что на основании современных геологических наблюдений делаются выводы о геологических явлениях в прошлом. Этот метод также применялся еще в античной натурфилософии. Актуалистический метод применял М. В. Ломоносов, описывая природные условия, при которых образуются горные породы, ископаемый уголь, янтарь и т. п. Обоснование актуализма как научного метода было сделано немецким ученым К. Гоффом, который считал, что для познания истории Земли следует связать современные исследования со свидетельствами геологических событий. Таким путем

К. Гофф пришел к отрицанию катастрофизма, однако он не смог противопоставить ему научную гипотезу.

Идея униформизма была высказана Геттоном, который считал, что во всех преобразованиях природы единственное, что оставалось неизмененным, это законы, управляющие подобными изменениями. Эта идея была развита Ч. Лайелем в виде гипотезы униформизма — гипотезы циклического развития, противопоставленной теории катастроф. Именно в этом состоит ценность униформизма, несмотря на ошибочность представления о неизменности характера геологических процессов. Для доказательства своих воззрений Ч. Лайель применял метод актуализма. Сочетание и разработка гипотезы униформизма и метода актуализма были именно тем наиболее важным достоинством, благодаря которому труд Лайеля открыл новую эпоху в развитии геологии. Однако не следует забывать и о методологических недостатках концепции Лайеля. «Недостаток ляйелевского взгляда—писал Ф. Энгельс, — заключался в том, что он считал действующие на земле силы постоянными,— постоянными как по качеству, так и количеству. Для него не существует охлаждения земли, земля не развивается в определенном направлении, она просто изменяется случайным, бессвязным образом» (Энгельс, 1955, стр.9).



Ч. Лайель

К середине XIX в. униформистское учение и актуалистический метод заняли ведущее положение в геологической науке.

Взгляды Лайеля имели много последователей, в том числе среди русских ученых. Так, Д. И. Соколов в своем учебнике «Курс геогнозии» (1839) описывал постепенные изменения, которые происходили на земной поверхности на протяжении истории Земли. Вместе с тем он считал, что «теперешние перемены Земли служат как бы ключом к открытию перемен незапамятных» (Соколов, 1839, ч. 2, стр. 62), применяя, таким образом, в своих исследованиях принцип актуализма. Эволюционные взгляды развивал также профессор Московского университета К. Ф. Рулье. В его работах подчеркивалось, что геологические и физико-географические условия на Земле изменялись постепенно; в связи с этим видоизменялись флора и фауна.

Таким образом, первая половина XIX в. является одной из весьма ярких страниц в истории геологии, определившей в значительной степени ее дальнейшее развитие. Характерные черты геологии этого времени получили соответствующее отражение в развитии отдельных ее отраслей, о чем будет сказано ниже.

Период первых трех десятилетий XIX в. имел для развития стратиграфии совершенно особое значение, так как именно в это время [1] заложились основы как современной методики стратиграфических исследований (палеонтологического метода), так и современной международной системы стратиграфической классификации.

Резкий перелом в развитии стратиграфии на рубеже XVIII и XIX вв., помимо причин общего характера, был связан в первую очередь с внедрением в стратиграфию новых методов исследования: геологического картирования и палеонтологического метода. В этом отношении 1799 г. был знаменательным — появились (в рукописном виде) геологическая карта окрестностей г. Бата (Юго-Западная Англия) и таблицы последовательности слоев и заключенных в них ископаемых того же района, составленных малоизвестным до этого времени английским гидротехником-самоучкой В. Смитом, который тридцать два года спустя был отмечен геологической общественностью Англии как оригинальный открыватель в английской геологии, который первый в этой стране открыл и изучил постоянство слоев и установил их последовательность при посредстве заключенных в них «ископаемых» [2].

Геологическое картирование, т. е. прослеживание и нанесение на карту границ распространения отдельных слоев, позволяло установить «порядок належания» последних в значительно более широком масштабе, чем это допускало изучение отдельных обнажений. В то же время геологическое картирование требовало выделения определенных объектов картирования, т. е. разработки той или иной, пригодной для практического использования схемы стратиграфической классификации. Геологическое картирование явилось, таким образом, одновременно и методом, и стимулом развития стратиграфической классификации.

Не меньшее значение имело для развития стратиграфии установление — первоначально (1799 г.) Смитом в Англии и несколько позже (1808 г.), независимо, Ж. Кювье и Ал. Броньяром во Франции — того факта, что «каждый пласт заключает ископаемых органического происхождения, характерных именно для него» (Смит, цит. по Phillips, 1844, стр. 15). Отсюда следовало, с одной стороны, что слои могут различаться и отождествляться по заключенным в них ископаемым, а с другой — что изучение самих ископаемых в серии последовательно залегающих слоев может раскрыть историческую последовательность существования на поверхности Земли различных сообществ видов животных и растений. Последнее обстоятельство, открывавшее совершенно новое, безграничное (и при том чрезвычайно увлекательное) поле исследования, особенно сильно привлекло внимание натуралистов к «слоям» и заключенным в них органическим остаткам и способствовало интенсивному изучению как тех, так и других.

В исследованиях Смита, которого современники часто называли «Strata-Смит», на первом месте всегда стояли слои; ископаемые являлись для Смита лишь способом распознавания слоев. В исследованиях же Кювье и Броньяра на первом месте стояли сообщества ископаемых организмов; лишь способом выявления как самих этих сообществ,так и хронологической последовательности их существования являлось для Кювье изучение стратиграфической последовательности вмещающих слоев.

---

[1] Примерно этот же период (1790—1820 гг.) Циттель (Zittel, 1899) назвал героической эпохой (heroische Zeitalter) развития геологии в целом. В развитии стратиграфии эта «героическая эпоха» примерно на десятилетие запаздывает.

[2] Из решения Лондонского геологического общества 11 января 1831 г., вынесенного в связи с присуждением Смиту первой Волластоновской медали.

Выявление того обстоятельства, что каждый пласт заключает ископаемые органического происхождения, характерные именно для него, не сразу привело к практическим результатам. Для более или менее широкого использования этого положения необходимо было накопление минимального запаса палеонтолого-стратиграфических данных. Это накопление потребовало около тридцати лет напряженной работы большого числа европейских исследователей, и лишь к началу 30-х годов прошлого века оно достигло того масштаба, который сделал палеонтолого-стратиграфические факты действенным орудием стратиграфических построений.



В. Смит

Таким образом, практически на протяжении первых трех десятилетий XIX в. роль в стратиграфических построениях палеонтологического метода и соответственно межрегиональной стратиграфической параллелизации слоев была еще скромной. Стратиграфические схемы того времени были еще, по сути дела, схемами региональными, последовательность членов которых устанавливалась в основном прямыми методами геологического картирования. Лишь в самой общей форме и только по отношению к наиболее характерным членам европейского разреза в стратиграфических построениях рассматриваемого периода осуществлялась более или менее широкая стратиграфическая корреляция.

Распространившись с начала XIX в. на многие страны Европы и отчасти даже за ее пределы, стратиграфические исследования из-за различных природных условий развивались неодинаково. Исключительное их сочетание было встречено в южной части Великобритании — в Англии и Уэльсе. В этом районе на поверхность в непрерывной последовательности выступают почти все основные члены стратиграфического разреза, представленные в большей своей части неметаморфизованными осадочными породами, как правило, богатыми остатками разнообразных ископаемых.

Не удивительно поэтому, что именно Англия заняла в начале XIX в. ведущее место в развитии стратиграфии и стала, вместе с Уэльсом, фактически родиной современной международной стратиграфической шкалы. Почти все основные подразделения этой шкалы — группы и системы, а также многие подразделения низших рангов (отделы, ярусы) были выделены первоначально в этих разрезах. На основе изучения разрезов было впервые установлено (Смитом) стратиграфическое значение органических остатков, хотя последовательность наиболее характерных членов английского разреза была описана для некоторых районов Англии еще задолго до Смита (см. гл. 2).

В. Смит, сын небогатого фермера из Оксфордшира, был самоучкой. Его образование ограничивалось сельской приходской школой, все остальные

знания он приобрел самостоятельно. Восемнадцатилетним юношей он определяется в помощники к землемеру-практику Эдварду Веббу, а в 22 года (с 1791 г.) начинает работать самостоятельно — на угольных копях Сомерсетширского угольного бассейна. С 1793 г. Смит в качестве «районного инженера» работает на Сомерсетширском угольном канале в районе г. Бата, с которым были связаны шесть лет его последующей, наиболее плодотворной в геологическом отношении деятельности.

Различиями слоев, возможностью прослеживания на местности и нанесения их границ на карту Смит заинтересовался с самого начала своей деятельности как землемера. Этот интерес укрепился в период работы на угольном канале и сохранялся до конца жизни.

Увлечение геологическим картированием сочеталось у него с коллекционированием ископаемых, весьма обильных в местности, где прошла его юность. Именно это сочетание и привело Смита к замечательному открытию: каждый слой заключает ископаемые, характерные именно для него. Значение этого он сам осознавал, по-видимому, далеко не в полной мере.

В 1799 г. Смит оставляет работу на канале и переходит к приватной деятельности инженера-консультанта. В различных районах Англии он консультирует работы по водоснабжению, осушению маршей, стройке дамб, прокладке каналов и т. п. Все свои свободные средства и время он отдает на составление геологических карт и коллекционирование ископаемых.

—Order of the STRATA and their imbedded ORGANIC REMAINS, in the vicinity of BATH; examined and proved prior to 1799.

Strata.	Thickness.	Springs.	Fossils, Petrifactions, &c. &c.	Descriptive Characters and Situations.
1. Chalk	300	Intermitting on the Downs	Echinites, pyrites, mytilites, dentalia, funnel-shaped corals and madrepores, nautilites, strombites, cochliæ, ostreæ, serpulæ	Strata of Silex, imbedded.
2. Sand	70			The fertile vales intersecting Salisbury Plain and the Downs.
3. Clay	30	Between the Black Dog and Berkeley.		
4. Sand and Stone	30			Imbedded is a thin stratum of calcareous grit. The stones flat, smooth, and rounded at the edges.
5. Clay	15	Hinton, Norton, Woolverton, Bradford Leigh.		
6. Forest Marble	10		A mass of anomiæ and high-waved cockles, with calcareous cement	The cover of the upper bed of freestone, or oolite.
7. Freestone	60		Scarcely any fossils besides the coral	Oolite, resting on a thin bed of coral.—Prior Park, Southstoke, Twinny, Winsley, Farley Castle, Westwood, Berfield, Conkwell, Monkton Farley, Coldhorn, Marshfield, Coldashton.
8. Blue Clay	6	Above Bath.		
9. Yellow Clay	8			Visible at a distance, by the slips on the declivities of the hills round Bath.
10. Fuller's Earth	6			
11. Bastard ditto, and Sundries	80		Striated cardia, mytilites, anomiæ, pundibs and duck-muscles.	
12. Freestone	30		Top-covering anomiæ with calcareous cement, strombites, ammonites, nautilites, cochliæ hippocephaloides, fibrous shell resembling amianth, cardia, prickly cockle, mytilites, lower stratum of coral, large scollop, nidus of the muscle with its cables	Lincombe, Devonshire Buildings, Englishcombe, Englishbatch, Wilmerton, Dunkerton, Coombay, Monkton Coombe, Wellow, Mitford, Stoke, Freshford, Claverton, Bathford, Batheaston and Hampton, Charlcombe, Swainswick, Tadwick, Langridge.
13. Sand	30		Ammonites, belemnites	Sand burs.
14. Marl Blue	40	Round Bath.	Pectenites, belemnites, gryphites, high-waved cockles	Ochre balls.—Mineral springs of Lincombe, Middle Hall, Cheltenham.
15. Lias Blue	25		Same as the marl with nautilites, ammonites, dentalia, and fragments of the enchrini	The fertile marl lands of Somersetshire. Twerton, Newton, Preston, Clutton, Stanton Prior, Timsbury, Paulton, Marksbury, Farmborough, Corston, Hunstreet, Burnet, Keynsham, Whitchurch, Salford, Kelston, Weston, Pucklechurch, Queencharlton, Norton-malreward, Knowle, Charlton, Kilmersdon, Babington.
16. Ditto White	15			
17. Marl Stone, Indigo and Black Marl	15		Pyrites and ochre	A rich manure.
18. Red-ground	180		No fossil known	Pits of riddle. Beneath this bed no fossil, shells, or animal remains are found: above it no vegetable impressions. The waters of this stratum petrify in the trunks which convey it, so as to fill them, in about fifteen years, with red watricle, which takes a fine polish.—Highlittleton.
19. Millstone.				
20. Pennant Street			Impressions of unknown plants resembling equisetum.	
21. Grays				Fragments of coal and iron nodules.—Hanham, Brislington, Mangotsfield, Downend, Winterbourn, Forest of Dean, Pensford, Publow, Chelwood, Cumptondando, Hallatrow near Stratford-on-Avon, Stonebench on the Severn, four miles from Gloucester.
22. Cliff			Impressions of ferns, olive, stellate plants, threnax-parviflora, or dwarf fan-palm of Jamaica	Stourbridge, or fire-clay.
23. Coal				

Рис. 4. Порядок слоев и заключенные в них органические остатки в окрестностях г. Бата, изученные в 1799 г. В. Смитом

Первая геологическая карта и первая таблица последовательности слоев, записанная под диктовку Смита его друзьями Ричардсоном и Таунсендом, были даны Смитом в 1799 г. для окрестностей г. Бата. Эта первая геологическая карта Смита никогда не была опубликована; единственный экземпляр принадлежит Лондонскому геологическом обществу. Таблица последовательности слоев окрестности г. Бата опубликована лишь в 1815 г. (рис. 4), но уже задолго до этого в рукописных списках эта таблица получила в Англии широкое распространение.

Еще в период работы на канале у Смита созревает план составления геологической карты и описания слоев всей территории Англии и Уэльса. В 1801 г. он выпускает проспект этой карты, которая, однако, была составлена лишь к 1812 г., а в 1815 г. знаменитая «карта слоев Англии и Уэльса с частью Шотландии» В. Смита, в масштабе 5 миль в 1 дюйме (1 : 316 800), вышла в свет. Карта сопровождалась объяснительным «мемуаром» (Smith, 1815), в котором наряду с первоначальной (1799 г.) дана расширенная и уточненная таблица последовательности слоев и заключенных в них ископаемых для всей территории Англии и Уэльса.

В последующие годы (1815—1824 гг.) Смит составляет и издает серию геологических карт различных графств Англии и геологических профилей (рис. 5), публикует краткое описание (аннотированный каталог) коллекции ископаемых, переданных им в Британский музей, и серию таблиц изображений ископаемых. Но все эти работы не прибавляют чего-либо существенно нового к его таблице 1815 г.

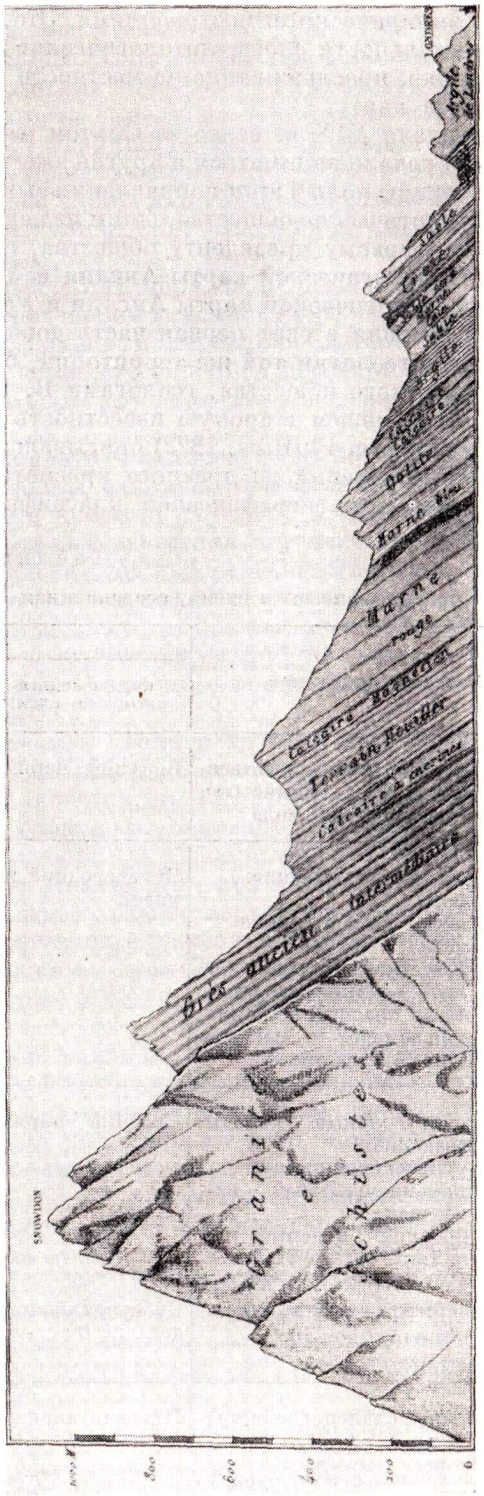


Рис. 5. Геологический профиль от Уэльса до Лондона, составленный В. Смитом в 1819 г., в изображении Добюиссона

Представленные на таблицах Смита стратиграфические схемы являются чисто эмпирическими построениями. Это были схемы стратиграфической последовательности слоев, литологические особенности которых допускали их выделение, прослеживание на местности и нанесение границ их распространения на карту.

С начала XIX в. вслед за Смитом изучением стратиграфии британского разреза начали заниматься и другие английские исследователи. Большую организующую роль в этом направлении сыграло учрежденное в 1807 г. Лондонское геологическое общество, одним из первых мероприятий которого было поручение первому президенту общества, геологу Г. Гринафу составление обзорной геологической карты Англии и Уэльса. Составление и издание этой второй геологической карты Англии и Уэльса было завершено в 1819 г., а в 1822 г. вышла в свет первая часть дополняющего карту монографического описания геологии той же территории, составленного членами Лондонского геологического общества, геологами В. Конибиром и В. Филлипсом.

В получившем широкую известность «Очерке геологии Англии и Уэльса» (Conybeore, Phillips, 1822) описывался весь британский разрез — от новейших отложений до древнего красного песчаника (девона) — и дана общая схема стратиграфической классификации. Рассмотрение образований

Таблица

Стратиграфическая схема, составленная В. Д. Конибиром и В. Филлипсом

Характер отложений	Названия		
	предложенные авторами схемы	по А. Г. Вернеру	по другим авторам
1. Формации (преимущественно песчаные и глинистые), залегающие выше мела	Верхний порядок	Класс новейших флёцовых пород	Класс третичных отложений
2. Формации включающие: a) мел b) пески и глины ниже мела c) известковый рухляк (оолит) и глинистые слои d) новый красный песчаник, конгломерат и магнезиальный известняк	Суперсредний порядок	Класс флёцовых пород	Класс вторичных отложений
3. Каменноугольные породы, включающие: a) угленосную толщу* b) каменноугольный известняк c) древний красный песчаник	Средний порядок	Относятся или к предыдущему, или к последующему классу; очень часто угленосные слои относятся к первому из них, нижележащие же известняки и песчаники — ко второму	
4. Кровельные сланцы и пр.	Субсредний порядок	Класс переходных пород	Класс промежуточных образований
5. Слюдяной сланец, гнейс, гранит и пр.	Нижний порядок	Класс первозданных пород	Класс первозданных пород

* При описании каменноугольных пород в составе угленосной толщи выделяются жерновой песчаник внизу и угленосная толща (s. str.) вверху.

более древних должно было составить содержание второй части «Очерка...», которая, однако, так и не была опубликована.

В основу стратиграфической схемы Конибира и Филлипса (таблица) положены прежде всего данные таблицы Смита (1815 г.), дополненные как самими авторами очерка геологии Англии и Уэльса, так и литературными.

Многочисленные слои разреза, которые выделялись Смитом как равноправные стратиграфические единицы, сгруппированы Конибиром и Филлипсом в подразделения нескольких соподчиненных рангов. В наиболее крупных подразделениях (порядках) своей схемы они следовали схеме Вернера, внеся в последнюю лишь некоторые изменения, отвечающие особенностям британского разреза.

По современной классификации верхний порядок (superior order) схемы Конибира и Филлипса отвечает кайнозойской группе, суперсредний порядок (supermedial order) — мезозойской группе и пермской системе палеозоя, средний порядок (medial order) — каменноугольной и девонской системам, субсредний (submedial) и нижний (inferior) порядки — додевонским образованиям.

Вполне отчетливо в схеме Конибира и Филлипса выделяется и ряд подразделений, отвечающих более дробным единицам современной хроностратиграфической шкалы. Так, древний красный песчаник отвечает современной девонской системе, каменноугольный известняк и угленосная толща — каменноугольной системе, подразделение «d» суперсреднего порядка (новый красный песчаник и пр.) — триасовой и пермской системам, подразделение «c» того же порядка, которое в дальнейшем, в описательной части очерка, называется оолитовой серией и подразделяется на три «системы»,—юрской системе, вышележащие подразделения «b» и «a»,— соответственно нижнему и верхнему отделам меловой системы.

Нерасчлененная на рассматриваемой таблице группа отложений верхнего порядка подразделяется при описании данных отложений на два отдела (section), в каждом из которых различается, кроме того, ряд более дробных подразделений. В верхнем отдела, следуя В. Бекленду, Конибиром и Филлипсом выделяются аллювий (a), дилювий (в) и еще ниже— «наиболее высокие из правильно наслоенных слоев Англии» (c), под которыми понимались слои так называемого крага [1]. К нижнему отделу верхнего порядка отнесены изученные геологом Т. Вебстером третичные (палеогеновые) отложения Гэмпширского бассейна и соответствующие им слои Лондонского бассейна, залегание которых стратиграфически ниже слоев крага было установлено геологом Дж. Паркинсоном.

Если в выделении единиц высшего ранга (порядков) Конибир и Филлипс следовали в общем схеме Вернера, то в отношении более дробных подразделений их схема оставалась строго региональной, полностью отвечая строению именно британского разреза. В то же время в схеме ясно намечены уже контуры ряда основных подразделений (систем и отделов) верхней (надсилурийской) части современной международной хроностратиграфической шкалы.

После периода интенсивных статиграфических исследований, завершившихся появлением схемы Конибира и Филлипса, в развитии британской стратиграфии устанавливается затишье: стратиграфическая схема, которая дается в 1831 г. в руководстве по геологии Г. Т. Де ла Беша мало отличается от схемы Конибира и Филлипса. Лишь с начала следующего десятилетия наступает новая волна крупных достижений, но уже в изучении более древних, додевонских, образований.

---

[1] Краг — местное название морских плиоцен-четвертичных ракушечных песков, развитых в графствах Суффольк и Норфольк Восточной Англии.

В годы упомянутого затишья существенные дополнения к данным Конибира и Филлипса были сделаны лишь в отношении нижнемеловой части британского разреза, детально изученной и расчлененной в результате исследований геологов Г. Мантеля и В. Г. Фиттона. В 1827 г. Фиттон (Fitton, 1836) дал следующую схему расчленения меловых отложений Южной Англии:

Мел	Верхний Нижний Мергелистый	Ископаемые морские; виды многочленны
Зеленый песок	Верхний зеленый песок Гольт Нижний зеленый песок	
Уилд	Уилдская глина Гастингский песок Пурбекские слои	Ископаемые большей частью пресноводные; видов немного
Часть оолитовой серии	Портландский камень Кимериджская и Уэймутская глина и песок, Оксфордский оолит	Ископаемые морские; виды многочленны

Интересно, что в этой схеме были заложены все будущие варианты расчленения меловой системы на отделы.

Изучением меловых отложений Южной Англии завершается первый цикл стратиграфических исследований, охвативших всю серию слоев верхнего структурного этажа британских каледонид и герцинид— от древнего красного песчаника до дилювия и аллювия. В результате этих исследований к началу 30-х годов прошлого века в разрезах Великобритании над стратиграфически нерасчлененной толщей более древних образований нижнего структурного яруса каледонид стали выделять следующие основные группы слоев.

1. Группа каменноугольных пород, включающая отложения: древнего красного песчаника, каменноугольного (или горного) известняка, жернового песчаника и угленосной толщи (в табл. две последние толщи объединены в одну — угленосную толщу).

2. Группа отложений «нового красного песчаника» (новый красный песчаник, магнезиальный известняк и пр.).

3. Оолитовая серия, подразделяющаяся или на нижнюю, среднюю и верхнюю оолитовые системы, нижняя из которых охватывала нижний оолит и лейас, или на оолитовую серию (s. str., без лейаса) и лейас.

4. Группа уилда, зеленого песка и мела, члены которой разные исследователи группировали различным образом.

5. Группа «надмеловых» отложений (s. str.), включающая надмеловые отложения Гэмпширского и Лондонского бассейнов, а по Де ла Бешу — также слои крага.

6. Группа дилювия (отложения с эратическими валунами, по Де ла Бешу) и аллювия (современные отложения, по Де ла Бешу). Конибиром и Филлипсом к этой же группе (верхний отдел верхнего порядка) были отнесены слои крага.

Одновременно с установлением последовательности слоев британского разреза стратиграфические исследования, развернувшиеся в странах континентальной Европы, позволили внести в этот разрез ряд существенных дополнений.

Наиболее фрагментарно представленный интервал британского разреза, сложенный к тому же в основном толщами континентальных красноцветных отложений «нового красного песчаника», отвечает пермской и триасовой си-

стемам современной хроностратиграфической шкалы. Значительно более полно отложения этой части разреза развиты в Саксонии и Тюрингии, где они уже к началу рассматриваемого периода были хорошо изучены и расчленены на четыре свиты: красный мертвый лежень, цехштейн, пестрый песчаник и раковинный известняк.

В 1822 г. одним из наиболее выдающихся учеников Вернера Л. Бухом в разрезе северо-восточной части Швабско-Франконского бассейна, в районе г. Кобурга, было установлено присутствие свиты пестроцветных гипсоносных глин и песчаников, залегающих стратиграфически выше слоев раковинного известняка (Buch, 1822). Для обозначения комплекса этих пестроцветных отложений Бух использовал местное выражение «кейперские слои», или просто «кейпер». С выделением кейпера все основные члены (отделы) пермской и триасовой систем были намечены, и оставалось только объединить их в более крупные подразделения.

Еще в 1795 г., другим выдающимся учеником Вернера А. Гумбольдтом было употреблено название «известняк юры» по отношению к известнякам и сопутствующим им породам, слагающим область Швабско-Франконской и Швейцарской Юры. Гумбольдт рассматривал «известняк юры» как самостоятельную формацию, которую, основываясь на данных Смита, Баклэнда, Конибира и Филлипса, он сопоставил впоследствии (Humboldt, 1822) с оолитовой серией (включая лейас) британского разреза. Тем самым «юрская система» современной шкалы получила свое оформление не только по существу, что было представлено в схеме Конибира и Филлипса, но и номенклатурно.

В связи с этим следует отметить, что Ал. Броньяр (Brongniart, 1829), которому приписывается обычно «выделение» юрской системы, юрскими отложениями (terrian jurassique) называл лишь среднюю часть современной юрской системы, располагающуюся в его схеме между лейасскими отложениями (terrian du lias) внизу и «эпиолитовыми» отложениями (terrian epiolithique) вверху; к последним Ал. Броньяр относил при этом среднюю и верхнюю оолитовые системы схемы Конибира и Филлипса.

Весьма существенным вкладом в разработку сводного стратиграфического разреза Западной Европы были классические исследования Кювье и Ал. Броньяра по изучению третичных отложений Парижского бассейна (1808 г.). Наряду с исследованиями Смита они послужили основой для развития палеонтологического метода в стратиграфии. Если Смит ограничился простой констатацией палеонтологических различий отдельных слоев, то Кювье, со свойственным ему талантом широко и четко ставить научные вопросы и находить радикальные пути решения занимающих его научных проблем, и в данном случае дает общее и как будто исчерпывающее объяснение упомянутых выше различий. В 1812 г. своему труду «Исследования об ископаемых костях» Кювье предпосылает «Предварительные рассуждения», в которых он развивает и обосновывает мысль о том, что различия видов ископаемых животных, встречающихся в различных слоях Земли, обусловлены периодически совершавшимися «переворотами», уничтожавшими все живое, и следовавшими каждый раз за ними актами творения новых видов животных и растений. Впоследствии «Предварительные рассуждения» под названием «Рассуждения о переворотах на поверхности Земли» неоднократно переиздавались отдельной книгой и были переведены на многие европейские языки, в том числе на русский язык. Таким образом, Кювье в своих «рассуждениях» эмпирически установленной закономерности придал значение общего закона жизни Земли, из которого следовал ряд весьма важных общих методических положений для стратиграфии.

Второе, что определило большое значение исследований Кювье и Броньяра, было развитие в них представления о формации как об основной едини-

це стратиграфической (историко-геологической) классификации. Понятие формации, благодаря особенностям строения третичных отложений Парижского бассейна — чередованию в разрезе морских и континентальных толщ слоев, приобрело в работах Кювье и Броньяра четко выраженное палеогеографическое содержание.

Наконец, изучение и расчленение третичных слоев Парижского бассейна было проведено Кювье и Броньяром столь тщательно и полно, что оно легло в основу всех последующих работ по стратиграфии данных отложений.

Сопоставление стратиграфических разрезов стран континентальной Европы и классического британского разреза, позволило в 1829 г. Броньяру, а в 1831 г. бельгийскому геологу Ж. Б. Д'Омалиусу д'Аллуа выступить с общими синтетическими схемами классификации известных в то время осадочных образований. Первая из упомянутых двух схем классификации (Броньяра) оказалась, однако, слишком специфической и сложной для практического использования. Она не получила дальнейшего развития и очень быстро стала достоянием одной лишь истории. Наоборот, то расчленение, которое было дано в менее известной схеме Д'Омалиуса д'Аллуа (d'Omalius d'Halloy, 1831), в значительной своей части оказалось весьма жизненным и послужило прототипом соответствующего интервала современной хроностратиграфической шкалы.

Наибольший интерес в схеме Д'Омалиуса д'Аллуа представляет ее средняя часть, соответствующая пермской системе и всей мезозойской группе современной хроностратиграфической шкалы. В этом интервале он выделил пять групп отложений (terrains): пенеенскую, кейперскую, лейасскую, юрскую и меловую. Первая из них (пенеенская) отвечает современной пермской системе; вторая (кейперская) — триасовой; третья (лейасская) и четвертая (юрская) — юрской; пятая (меловая) — меловой.

В данной схеме впервые в современном объеме выделяются пермские и меловые отложения, соответствующие, в современном понимании [1], системам. В объеме современной юрской системы (соответствующей оолитовой серии схемы Конибира и Филлипса) Д'Омалиус д'Аллуа выделил две группы отложений: лейасскую и юрскую. Подобная схема деления была принята многими последующими исследователями и, в форме противопоставления лейаса всей остальной части юрской системы, нашла отражение даже в работах некоторых современных французских геологов.

Таким образом, в схеме Д'Омалиуса д'Аллуа дана вполне современная схема классификации пермско-мезозойского интервала западноевропейского разреза. Существенно при этом, что стратиграфический объем всех основных подразделений данного интервала он определял или через региональные единицы германского разреза — для пенеенских и кейперских отложений, или через таковые британского разреза — для лейасских, юрских и меловых отложений, но не через единицы франко-бельгийского разреза, хотя именно этот разрез он непосредственно изучал.

В расчленении надмеловых отложений — «третичных» и «современных»— Д'Омалиус д'Аллуа следовал отчасти английским авторам, отчасти же, в выделении по генетическому признаку морских «тритониенских») и пресноводных («нимфеенских») третичных отложений — Броньяру. В схеме д'Омалиуса д'Аллуа дана довольно дробная классификация отложений нижней допенеенской (допермской) части разреза. В этой части его схема опира-

[1] «Установление» меловой системы относят обычно к 1822 г. Однако в 1822 г. в объяснительной записке к геологической карте Франции) Д'Омалиус д'Аллуа не дал еще ясного определения объема и нижней границы выделяемых им меловых отложений. Фактически он относил в то время к меловым отложениям лишь верхнюю и среднюю части современной меловой системы начиная примерно с апта или альба.

лась уже на результаты изучения палеозойских отложений Арденн, выполненного как самим д'Аллуа, так и, особенно, совсем юным в то время талантливым бельгийским геологом А. Дюмоном.

Схема Д'Омалиуса д'Аллуа суммирует в основном данные по изучению германского и британского разрезов. Для русских геологов эта схема представляет особый интерес еще и в связи с тем, что она нашла отражение в первом русском курсе исторической геологии — Д. И. Соколова (1839).

ГЕОТЕКТОНИКА

Появление и быстрое развитие новой отрасли геологической науки, занимающейся изучением складчато-разрывных деформаций земной коры и причин складко- и горообразования (в современном понимании, геотектоники), было связано с рядом причин. Всеобщее признание космогонической гипотезы Канта — Лапласа, господствовавшее представление об огненно-жидкой массе внутри Земли, детальное изучение вулканов (во многих областях земного шара), изучение изверженных горных пород, накопившийся регионально-геологический материал и продолжавшиеся исследования складчатых областей, особенно Альп,— все это заставляло задумываться над вопросами, о том, в каком направлении продолжалось развитие Земли в ее геологическую стадию, каким образом связаны изменения ее поверхности с недрами, как образовались горы и сложные складчатые структуры на поверхности Земли.

Ведущей для первой половины XIX в. была гипотеза «кратеров поднятия», или, в более обобщенном виде, гипотеза поднятия. Она была основана на представлениях об активном воздействии огненно-жидкой внутренней части Земли на ее поверхность и о преобладающей роли вертикальных, направленных снизу вверх сил в формировании рельефа Земли. Последняя идея не была новой. Как известно, по представлениям античных мыслителей, ветры и испарения, циркулирующие по подземным каналам, поднимали участки поверхности Земли. Позднее Леонардо да Винчи считал, что суша поднялась из Мирового океана, и лишь затем ее рельеф был образован ручьями, прорывшими глубокие долины. Еще позднее, в XVII — первой половине XVIII в., главной тенденцией в формировании лика Земли считалось обрушение участков земной коры под действием силы тяжести (Декарт, Лейбниц, Бернет, Стенон и др.). Но уже во второй половине XVIII в. в связи с утверждением в науке идеи развития Земли и представлениями об активном подземном огне наибольшее значение в образовании рельефа Земли стало придаваться не пассивному обрушению, а активно действующим из недр, вертикально направленным силам (Ломоносов, Паллас, Геттон). В этих воззрениях, как отмечено выше, были заложены основы гипотезы поднятия, однако эти теоретические представления недостаточно опирались еще на данные природных наблюдений.

Окончательное оформление гипотеза «кратеров поднятия» получила в первой половине XIX в. в трудах немецких геологов Л. Буха и А. Гумбольдта. В ней получили отражение характерные для геологии первой половины XIX в. идеи: воздействие внутреннего расплава вызывало, по мнению сторонников этой гипотезы, быстрое, катастрофическое поднятие гор; гипотеза поднятия Буха и Гумбольдта была тесно связана с катастрофизмом.

Л. Бух и А. Гумбольдт были в начале научной деятельности крайними нептунистами. Однако в дальнейшем как Бух, так и Гумбольдт, работая в различных областях земного шара, увлеклись широко развернувшимися в то время исследованиями вулканов и, резко переменив убеждения, стали вулканистами.

Л. Бух в 1802 г. работал в вулканической области Овернь на юге Франции, в 1805 г. вместе с А. Гумбольдтом и французским физиком Ж. Л. Гей-Люссаком непосредственно наблюдал извержение Везувия. Дальнейшие его работы по изучению геологического строения Альп все более убеждали Л. Буха в большой роли вулканизма в образовании горных систем. В 1815 г. он вместе с английским ботаником Х. Смитом посетил вулканические Канарские острова в Атлантическом океане, в 1818 г. описал извержение одного из вулканов, а в 1825 г. опубликовал монографию, в которой наряду с описанием вулканов изложил и гипотезу кратеров поднятия.

Исследуя строение вулканов, Л. Бух заметил, что вокруг кратера слои базальта имеют наклон от центра к периферии. В действительности этот наклон обусловлен тем, что на склонах вулкана нагромождались продукты извержения. Однако Л. Бух сделал из этого факта другой вывод: он считал, что каждый из Канарских островов имеет в центре кратер поднятия, и все острова этой группы один за другим поднялись со дна морского вследствие воздымающей силы подземного расплава. Эта сила постепенно накапливалась в недрах, пока не преодолела сопротивление вышележащих масс. При подъеме вулканических масс образовавшееся отверстие закупоривается — тогда вулкан не образуется, но в середине возникает купол из трахита, как, например, купол «Пик» на одном из Канарских островов.

Из этих наблюдений Л. Бух сделал ряд общих выводов. Он отметил, что вулканы на земной поверхности разделяются на два класса — центральные и линейные. Последние располагаются вдоль трещин в земной коре. Именно так, благодаря внезапному внедрению по линейным направлениям изверженных масс, и образовались на Земле горные цепи. По аналогии с Канарскими островами Бух (Buch, 1825) считал, что такой подъемной силой обладают авгитовые порфириты, на которых как бы всплывают горные массивы. Строение многих горных систем, с массивами изверженных пород в центральной части и падающими к периферии слоями осадочных пород, очень напоминало описанную Бухом картину кратеров поднятия. Поэтому эта гипотеза, в ее обобщенном виде, сразу получила широкое распространение и была принята учеными многих стран.

Почти одновременно с Л. Бухом к гипотезе поднятия подошел и его соотечественник А. Гумбольдт. Его концепция в еще более ясной форме была связана с представлениями о медленном остывании нашей планеты и о сохранившемся внутри нее, под земной корой, огненно-жидким расплавом. По мнению Гумбольдта, воздействие огненно-жидкой массы на окисленную и затвердевшую земную кору выражается в виде вулканизма. Наиболее обычной формой вулкана является куполообразная форма — такой вулкан А. Гумбольдт, ссылаясь на статью Буха 1818 г., называет кратером поднятия (Humboldt, 1823). Расположение вулканов в виде групп или цепей Гумбольдт считал ясным доказательством того, что вулканизм связан не с мелкими, поверхностными, причинами, а с глубокими недрами Земли. В ранней стадии существования нашей планеты земная кора была тоньше, ее прорывали более мощные и более частые, чем теперь, вулканические извержения. Это была эпоха великих геогностических переворотов, когда воздействие жидкого внутреннего расплава вызывало поднятие вдоль длинных трещин в земной коре таких высочайших горных цепей, как Гималаи и Анды (Гумбольдт, 1951).

С действием подъемной силы упругой расплавленной массы связано также поднятие Кавказа, Гиндукуша, Персидского нагорья, плато Центральной Азии[1] и вообще поднятие материков, горных цепей и отдельных гор;

[1] Гумбольдт называл это плато «страной-кратером» и сравнивал его с покрытой кратерами поверхностью Луны.

вследствие охлаждения нашей планеты земная кора утолщается и действие этой силы все более ослабевает. Вулканические силы продолжают сотрясать нашу Землю по линейным направлениям или кругам одновременных колебаний, которые много веков остаются неизменными.

Представления Гумбольдта о связи внутренних и внешних частей нашей планеты и образовании гор и континентов, выраженные в такой обобщенной форме, значительно укрепили позиции гипотезы поднятия и сделали ее основой дальнейших полевых и теоретических исследований.



Л. Бух

Швейцарский геолог Б. Штудер, работавший в Альпах, тоже основывал свои исследования на гипотезе поднятия. Он считал, что расплавленная магма внедряется снизу в осадочные породы и поднимает, а также раздвигает их слои. Штудер (Studer, 1834, 1847) утверждал, что в центре каждого поднятия находится кристаллический массив, по бокам которого приподнятые слои осадочных пород сминаются в складки.

Предположение Гумбольдта об образовании горных цепей при внедрении расплавленных масс по линейным разломам в земной коре поддержали Штудер и Эли де Бомон (в дальнейшем основоположник контракционной гипотезы). Однако Эли де Бомон предположил, что поскольку внедрение было внезапным, все параллельные горные цепи возникли одновременно. Штудер не согласился с этим предположением. Анализ строения Альп убедил его в том, что оно очень сложно и не может уложиться в рамки такой упрощенной гипотезы (Studer, 1834, стр. 223).

Полевые наблюдения нередко убеждали геологов в том, что гипотеза поднятия слишком примитивна и не может объяснить всей сложности складчатых структур. Однако пока таких наблюдений было немного, и во второй четверти XIX в. гипотеза поднятия продолжала быть ведущей. Воздействие внутреннего огненного расплава считалось основной причиной образования гор, вулканизма и землетрясений.

Русский горный инженер И. Р. Лисенко (1835), описывая геологическое строение южного Урала, подчеркивал, что изгибание и поднятие слоев вызваны вторжением зеленокаменных изверженных пород. Д. И. Соколов (1839) совершенно правильно отметил, что все предположения, касающиеся внутреннего строения Земли, являются гипотетическими, так как глубокие недра Земли недостижимы. Отсюда Д. И. Соколов сделал весьма характерный для этого периода вывод о том, что непосредственным объектом геологического изучения может быть лишь тонкая земная кора. Тем не менее Д. И. Соколов считал, что вулканические извержения связаны с действием подземного огня, которое началось с тех пор, как земной шар пришел в те астрономические

условия, в которых находится теперь. Действие подземного огня раньше было сильнее, затем оно стало постепенно ослабевать. Горы образовались путем внезапных переворотов при поднятии расплавленных масс из глубин Земли. Та же причина вызывает извержение вулканов и землетрясения (Соколов, 1839). Русский геолог Э. И. Эйхвальд считал, что слои осадочных горных пород, образовавшиеся оседанием из воды, должны залегать горизонтально. Если же они приподняты и изогнуты, то это результат поднятия расплавленных масс изнутри Земли. Образование горных хребтов, поднятия и разрыва земной коры, вулканические извержения и землетрясения происходят вследствие одной и той же причины — действия огненно-жидкого ядра Земли на земную кору (Эйхвальд, 1846).

Интересная статья была опубликована в 1854 г. в «Горном журнале» Г. Д. Романовским. Он тоже считал, что горы образовались как местное поднятие вследствие воздействия внутреннего расплава, но был уверен, в отличие от сторонников катастрофистских идей, что образование гор происходило постепенно, в несколько этапов.

Профессор Петербургского университета С. С. Куторга в статье, посвященной геологическому описанию Крыма, отметил, что поднятие Крымских гор обусловлено сильным подземным «порывом» (Куторга, 1834). Однако в другой, более поздней работе С. С. Куторга (1858) значительно развил свои взгляды на строение земной коры и образование гор. По его мнению, толщина земной коры составляет всего 50 *км*, дальше идет огненный расплав. Такие представления согласовались с общепринятым мнением. Однако в отличие от своих современников С. С. Куторга представлял себе земную кору состоящей из двух толщ: огненной, или плутонической, образовавшейся вследствие застывания сверху расплавленного ядра, и водной, или нептунической, состоящей из осадочных пород — известняков, песчаников, глин (рис. 6). «Огненная» кора, в свою очередь, состоит из двух частей: «первородного» гнейса и «первородного» сланца. Эта схема Куторги в общем виде несколько напоминает современные представления о трехчленном делении земной коры. Горы, по мнению С. С. Куторги, образовались вследствие внедрения расплава, который приподнимает слои плутонической и нептунической коры и при застывании образует гранит или сиенит.

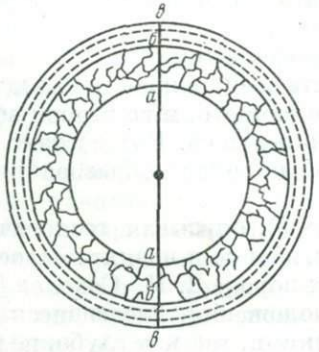


Рис. 6. Разрез Земли, по представлениям С. С. Куторги (1858)

аа — ядро Земли;
аб — огненная, или плутоническая, часть земной коры;
бв — водная, или нептуническая, часть земной коры

Приведенные примеры достаточно ясно показывают сущность гипотезы поднятия и характер ее применения. Следует отметить лишь то огромное влияние, которое имели эта гипотеза и сложившиеся в связи с ней представления об общем строении земной коры на ход развития геологической науки. Представления об образовании гор при внедрении плутонических масс по линейным разломам заставляли детально изучать структуру горных массивов.

Это изучение и составление карт, в свою очередь, способствовали развитию геотектоники, которая стала одной из ведущих отраслей геологической науки. Те же представления способствовали изучению вулканов («героический» период в развитии вулканологии) и изверженных горных пород, т. е. развитию петрографии.



А. Гумбольдт

В период господства гипотезы поднятия воздействие огненно-жидкого расплава на земную кору считалось причиной не только горообразования и вулканизма, но и землетрясений. В первой половине XIX в. в представлениях о причинах землетрясений господствующей была «теория упругих газов», согласно которой вода просачивающаяся сквозь кору, на границе коры и расплавленного ядра превращается в пар или разлагается с выделением водорода. Давление выделяющихся паров и газов вызывает землетрясение. Наряду с этим причиной землетрясений также считалось действие подъемной силы внутреннего расплава — в случае излияния его на поверхность образуются вулканы. Такие крайние вулканистические представления, особенно ярко выраженные в трудах А. Гумбольдта, благодаря огромному авторитету этого ученого надолго укоренились в науке. На этой же идее были основаны и труды члена Петербургской академии наук Г. В. Абиха, много лет посвятившего изучению геологического строения Кавказа. Представления о единой причине поднятия гор, землетрясений и вулканизма привели Г. В. Абиха к мысли о приуроченности землетрясений к определенным направлениям горных цепей. На Кавказе Абих выделил четыре таких направления, причем главным он считал широтное, так как в этом направлении протягивается пояс потухших и действующих вулканов. Этот пояс, по мнению Абиха, колеблется с древних времен и не совсем «окреп» еще и в настоящее время, так как периодически сотрясается змлетрясениями.

Таким образом, на идее гипотезы поднятия базировались представления в области не только геотектоники, но и ряда других отраслей геологической науки. Однако дальнейшие наблюдения все больше убеждали геологов в том, что структура отдельных участков земной коры значительно сложнее, чем это можно объяснить с помощью данной гипотезы, что области интенсивного вулканизма и землетрясений не всегда совпадают, следовательно, причина вулканизма, землетрясений и горообразования, возможно, различна. Таким образом, уже к середине XIX в. накопившиеся геологические данные о весьма сложном строении горных систем перестали подтверждать гипотезу поднятия. Вместе с тем космогоническая гипотеза Канта — Лапласа и основная идея об общем строении Земли продолжали оставаться господствующими и во вторую половину XIX в., хотя эти представления несколько усложнились к концу рассматриваемого периода. На основе новых данных в середине XIX в. широкое распространение получила гипотеза контракции.

Представления об образовании вулканов как кратеров поднятия были ведущими в первой половине XIX в. Однако исследования вулканов постепенно приводили ученых и к другим взглядам на их образование. Изучение вулканов, хотя и не ставшее еще самостоятельной наукой, имело большое значение для познания общего строения Земли и о процессах, происходящих на ее глубинах.

Ч. Лайель оспаривал гипотезу кратеров поднятия, видя в кольцеобразных валах остатки насыпных конусов. Эту же точку зрения высказал и подробно обосновал еще в 1825 г. в большом труде о вулканах Г. Пулетт-Скроп. Детальные исследования Г. Гартунга в 1862 г. на островах Мадейра, Азорских и Канарских, Д. Дэна в 1849 г. на Южных Сандвичевых островах, Ф. Фуке (Fouque, 1879), Шеллера в 1866 г., О. Фишера в 1876 г., А. Штюбеля (Stübel, 1897) на о. Санторин, также, казалось, подтверждали правильность критики Лайелем и Пулетт-Скропом теории кратеров поднятия. Однако позднее, как мы увидим, снова обнаружилась тенденция вернуться к учению о мощных переворотах в природе под влиянием вулканической силы.

Ч. Дарвин (Darvin, 1844) во время пятилетнего кругосветного путешествия на корабле «Бигль» тщательно наблюдал за деятельностью вулканов и их расположением. В результате изучения геологии островов Сантьягу и Вознесения, а также побережья Южной Америки он связывал вулканическую деятельность с явлениями поднятия или опускания земных пластов.

Наблюдавшиеся им вулканы Дарвин нанес на карту, увеличив тем самым для южной части Кордильер число известных к тому времени вулканов. Кроме того, он подверг критическому разбору сведения о вулканах, имевшиеся в работах предшествующих исследователей — Уильяма, Мальте, Брюна, Гамильтона и др. Одним из первых Дарвин подметил, что Анды представляют собой самую величественную вулканическую цепь в мире. Он утверждал, что действующие вулканы связаны с поднятием, и, следовательно, распределение вулканов зависит от характера подземных движений. Вулканы, писал Дарвин, тесно связаны с трещинами, возникшими при поднятии горных кряжей и материков. Этот вывод был диаметрально противоположным основам гипотезы кратеров поднятия Буха.

Решительный удар этой гипотезе был нанесен в 1866 г., когда произошло извержение вулкана Санторин, расположенного на о. Каймени. Это извержение продолжительное время наблюдали немецкие исследователи В. Рейс и А. Штюбель (Reiss, Stübel, 1903), которые показали, что новые порции вязких лав оттесняют вверх и в стороны лавы более раннего извержения, чем и ограничивается в сущности весь процесс извержения. Стало очевидным, что вулканические силы не являются причиной возникновения горных складок и хребтов.

На основе накопленных наблюдений над вулканами и вулканическими явлениями на протяжении XIX в. формировались новые представления и гипотезы, учитывающие значение в вулканическом извержении процессов «возгорания», горючих веществ, воздействия морской, подземной и поверхностной воды и газов.

А. Гумбольдт на основе широких исследований вулканов Италии и Америки отрицал какую бы то ни было роль морской воды в извержениях вулканов. С. Брейслак (Breislak, 1811) признавал, что извержения вулканов происходят в результате воспламенения петролия (нефти), циркулирующего в недрах Земли; отрицание роли морской воды позволило его привлечь для объяснения вызываемую этим огнем особую силу всасывания, которая способна поднять воду на значительную высоту в недрах Земли.

Русский натуралист Н. Щеглов в 1823 г. в работе «Краткое рассмотрение огненных явлений, из внутренности Земли исходящих; или о вулканах и их явлениях вообще» сделал вывод о приуроченности вулканов к морям. На Камчатке он насчитал, в частности, пять или шесть вулканов, а на окружающих островах — значительно больше. Н. Щеглов затронул вопросы о подземной связи вулканов, о групповом расположении вулканов рядами, что соответствовало представлениям о расположении вулканов цепями в Америке, по Гумбольдту, и в Оверни, по Добюисону де Вуазену. Он считал, что подземная теплота расплавляет минеральные вещества, которые остаются в вулканических полостях до тех пор, пока новая действующая сила не погонит их в огненную гору. Щеглов считал справедливым мнение Л. Спалланцани о том, что «...материя лавы, превращенная в пары теплотвором, должна усиливать действие других упругих жидкостей, происходящих в подземной пещере на значительной глубине. Под минеральною корою, под великой глубиной лежит весьма густая жидкость или ил, вследствие брожения она рвет кору, а на поверхности воспламеняется» (Щеглов, 1823, стр. 80).

Но мнение французского геолога П. Кордье (Cordier, 1816), пары воды, выделяющиеся при извержении Этны, происходят от таяния снега или от сильных дождей. Подобные взгляды критиковались зарубежными и русскими авторами. Так, при чтении книги Ф. Жодейко (1828) «О вулканах и их подземных сообщениях» обращают на себя внимание примечания, сделанные издателем М. Павловым. Он писал, что «едва ли найдет многих последователей П. Кордье, который в 1827 г. в Парижской академии наук возобновляет теорию Бюффона» (Жодейко, 1828, стр. 124). В этой книге содержится мнение, что вулканы и землетрясения являются произведением огня, а цепь вулканов Тихого океана свидетельствует о их подземных сообщениях. Вода, а также колчедан («удобовозгорающее вещество») производят брожение и воспламенение. М. Павлов замечает, что «происхождение веществ удобнее и основательнее можно изъяснить из гальванического процесса планеты» (там же, стр. 189). Доказательством этого, по его мнению, является наэлектризованность во время извержений железных запоров, расположенных перпендикулярно к направлению вулкана.

Идея об участии морской воды в механизме извержений вулканов не покидала широкие круги натуралистов на протяжении всего XIX столетия. Ч. Лайель в своих работах, касаясь вопроса сосредоточения вулканов вдоль краевых частей океана, допускал важную роль воды в процессе и механизме извержения. В то же время американский геолог Д. Дэна (Dana, 1849) и другие признавали, что важным агентом извержений вулканов является пресная метеорная, а не соленая морская или океаническая вода.

Новым в объяснении вулканических извержений явилось представление немецкого геолога К. Бишофа (Bischof, 1839), который считал, что причиной извержений является химическое разложение горных пород, приводящее к окислению и расширению веществ в глубинах земного шара. По-видимому, это было первое высказывание, давшее основу более поздней теории А. Штюбеля.

ПЕТРОГРАФИЯ

Учение о горных породах — петрография, зародившись еще в конце XVIII в., быстро развивалось на протяжении всего XIX в. Основой минералогического направления петрографии явились работы Р. Ж. Гаюи, геологического — А. Вернера, собственно петрографического — Ал. Броньяра и П. Кордье, химического — Г. В. Абиха, Р. Бунзена, Ж. М. Дюроше, Ф. Рихтгофена и И. Рота и, наконец, петрологического — К. Ф. Наумана.

В первой половине XIX в. петрография разрабатывалась главным образом во Франции (Гаюи, Кордье, Броньяр, Кокан и др.), в Германии (Леонгард, Науман, Рот, Котта, Зенфт) и России (Севергин, Соколов, Абих и др.). В этот период термины «петрография» и «петрология» мы находим в заглавии книги «Петрология третичных пород» Пинкертона (Pinkerton, 1811), изданной в Лондоне, в учебнике геологии Д. И. Соколова (1839), где имеется, раздел «Петрография», и, наконец, в работе К. Ф. Наумана (Nauman, 1850), содержащей разделы «Петрография» и «Петрогенез».

Большое значение для зарождавшейся петрографии имели работы французского минералога и кристаллографа Р. Ж. Гаюи, профессора минералогии в Парижском музее естественных наук. Занимаясь основами классификации горных пород, он тем самым развивал минералогическое направление петрографии.

В работе Гаюи 1801 г. «Трактат по минералогии» и в приложениях к нему, следуя идеям своего предшественника, французского геолога Г. С. Доломье, рассматривал горные породы как минеральные агрегаты. Он пытался создать классификацию, учитывая геологические данные. В то же время, не отходя от общепринятых схем фактических группировок пород, он уже выделял их структуру в качестве основы, что стало преобладающей и характерной чертой всех последующих систем классификации горных пород, предложенных позднее немецким петрографом К. Леонгардом и другими. Гаюи постепенно освобождался от влияния идей Доломье, считая, что основой правильной классификации должны служить свойства горных пород. В 1811 г. он высказал намерение классифицировать породы в первую очередь по их минералогическому составу и в 1822 г. во втором издании своего трактата предложил следующую классификацию: 1) камни и соли (включая фосфориты и флюорит); 2) горючие неметаллические вещества (включая графит и уголь); 3) металлические вещества (включая железные, медные, свинцовые, цинковые и оловянные руды); 4) породы изверженного происхождения, по мнению одних исследователей, и водного (включая долериты и базальты) — по мнению других; 5) породы, изверженное происхождение которых общепризнано (включая лавы и туф); 6) сублиматы (включая серу и гематит вулканического происхождения); 7) «термантиды» (вещества, измененные невулканическим огнем).

Следуя признанной в то время всеми натуралистами системе К. Линнея, Гаюи подразделял классы на порядки, роды и виды. Деление пород на порядки основывалось на структуре, а виды — на минералогическом составе. Заслугой Гаюи можно считать введение им в 1811 г. в качестве основ классификации пород минералогический состав и структуры, а не геологические основы. Ал. Броньяр (Brongniart, 1813), выступивший двумя годами позже, был последователем Гаюи. Схема Гаюи сыграла большую роль в развитии идей его современников П. Кордье и К. Леонгарда, хотя это минералогическое направление позднее встретило критическое отношение со стороны петрографа К. Лоссена (Lossen, 1884) в Германии и У. Кросса (Cross, 1903) в США. Однако классификации Гаюи, а также Ал. Броньяра и Кордье, основанные на минералогическом составе и структуре горных пород, были гораздо шире классификаций Лоссена и Кросса, и принцип их построения пронизывал все французские классификации вплоть до середины XIX в.

Положительное значение для развивающейся петрографии имела одна из ранних работ Д. Пинкертона «Петрология третичных пород», вышедшая в Англии в 1811 г. В этом труде еще нет полного разграничения горных пород и минералов, не учитывается генетический признак в классификации горных пород, исключением является выделение вулканических образований. Во введении автор отметил значение химических признаков для классифи-

кации, необходимость новых терминов для обозначения понятий или явлений и т. п.

Развитие учения о горных породах отразилось на эволюции термина «горная порода». Это так же было важно, как позднее определение понятия «магма». Одним из первых, кто обратил особое внимание на терминологию в зарождающейся науке, был Ал. Броньяр. Говоря о шкале Вернера, он отмечал, что немецкие минералоги, принявшие классификацию на геогностической основе, возражали против классификации, базирующейся на минералогическом составе и структуре. А это, по его мнению, сказалось на ограниченности терминологии при описании пород для различия и выделения важных типов. Эта терминология, следовательно, была и недостаточной, и непригодной для описательного изучения пород.

Ал. Броньяр касался сложных пород, т. е. собственно пород в понимании Г. С. Доломье. Как и Гаюи, он брал за основу классификации минеральный состав и принимал его только для родов и видов, а классы основывал на структуре пород. Его деление пород на классы по структуре совпадает с основами классификации Гаюи. Однако Ал. Броньяр подразделяет породы на класс изверженных и класс метаморфических, называя породой все большие массы — каменные, соляные, горючие или металлические, участвующие в строении Земли.

Определение термина «порода» Ал. Броньяром сформулировано чрезвычайно тщательно, оно включает все классы минералов Вернера и охватывает все виды минеральных масс — изверженные, осадочные и метаморфические породы, известные нам в современной науке. Ал. Броньяр признавал разницу, допускавшуюся в то время, между гомогенными породами (гипс, каменная соль, уголь и др.) и гетерогенными (гранит, порфир, конгломерат и др.). Он проводил резкую границу между двумя точками зрения на породы, которые по его словам, отражали минералогическую и геологическую историю пород. Они более или менее совпадали с принятыми в настоящее время терминами «петрография» и «петрология», если считать, что первая изучает состав и структуру, а вторая — их геологические (геогностические, по терминологии того времени) соотношения.

Не менее известный исследователь П. Л. Кордье впервые провел важные исследования пород с помощью физических и химических методов, благодаря чему он вошел в историю как петрограф. В связи с успешной разработкой вопросов классификации он приобрел широкую известность в Европе. Как и Ал. Броньяр, Кордье занимался определением термина «порода», которая, по его мнению, была материалом, слагающим земную кору. Его классификация отражала влияние Гаюи, так как группировка горных пород была основана на минералогическом составе. Он различал 34 семейства пород, название их определялось главной составной минеральной частью. Структуре Кордье придавал подчиненное значение, так как последняя, по его мнению, могла служить только для подразделения внутри семейства. В некоторых случаях, семейства подразделялись на порядки, роды и виды, а последние, в свою очередь, были сгруппированы в четыре больших класса. Эти классы полностью совпадают с классами, принятыми А. Кронштедтом и А. Вернером для минералов.

Самый видный германский ученый того времени по вопросам горных пород К. Леонгард (Leonhard, 1823, 1824), следовал по пути Ал. Броньяра, считавшего изучение пород самостоятельным предметом. Он признавал, что классификация пород требует особой терминологии, независимой от геогностических построений. Он, как Вернер и другие, в своем трактате сделал многое для обоснования описательной петрографии, уточнив способы изучения пород, их структуры, а также их терминологию. Он соглашался

с Ал. Броньяром, что изучение горных пород должно быть независимо от геогнозии, и придавал большое значение структуре. Однако Леонгард шел гораздо дальше Ал. Броньяра. Он отказался от применения к породам терминологии Линнея (порядок, род, вид). Все последующие петрографы и петрологи последовали его примеру. Хотя в петрографии и поныне встречаются такие названия групп, как «класс», «семейство» и «вид», но применяются они уже не по аналогии с биологической терминологией.

Леонгард осуществил опыт классификации на основе структурного принципа. Недостатком этой классификации, по сравнению с французской схемой, была ее неполнота, ибо практически она ограничивалась силикатными и осадочными породами. Этот недостаток был у всех немецких схем начиная с Гайдингера и Вернера. Леонгард отказался от геогностического принципа полноты классификации, имевшейся в схемах Гаюи и Кордье. «Структуры», положенные в основу его классификаций, были менее естественны, чем минералогический состав в классификациях французских геологов. В вопросах объема науки о породах у Леонгарда была бóльшая ограниченность, особенно в понимании генезиса пород вообще.

Вскоре после выхода в свет книги Леонгарда (Leonhard, 1823, 1824) появился труд Ал. Броньяра (Brongniart, 1827), содержащий большую часть его предыдущей работы. В этой книге он касался только сложных пород, а в последующую работу он включил и описание гомогенных пород и, следуя Гаюи и Кордье, расширил свою классификацию за счет пород, которые Леонгард исключал из своей схемы.

Среди исследователей, занимавшихся петрографией в России, прежде всего необходимо отметить Севергина. В его ранних работах в 1787, 1801, 1807, 1809 гг. на русском и французском языках, освещены распространение минералов и горных пород в России и их классификации. По названию книги Севергина 1809 г. «Опыт минералогического землеописания Российского государства» можно судить о ее содержании. Эта книга в то время имела большое значение: по ней читал в Дерптском университете лекции профессор М. Энгельгард (1839), который внес свою лепту в науку, указав на связь платины и золота с определенными горными породами.

Краткие сведения о горных породах и их классификации дал в своей «Геогнозии» А. Севастьянов (1810). В другом учебном пособии, также называемом «Геогнозия», Э. Эйхвальд (1846) значительную часть отвел горным породам, которые разделил на плутонические и нептунические; первые он в свою очередь расчленил на первозданные, или основные, и вторичные, или изверженные.

В учебнике «Курс геогнозии» Д. И. Соколова (1839) был выделен петрографический отдел. Д. И. Соколов подразделял горные породы в зависимости от их структуры и состава. Исходя из минералогического состава горных пород, он расчленял их на разряды, или семейства: 1) полевошпатные; 2) слюдяные, тальковые и хлоритовые; 3) змеевиковые; 4) роговообманковые; 5) авгитовые; 6) кварцевые; 7) глиняные; 8) известковые; 9) железные; 10) угольные; 11) соляные, кроме того, он добавил обломочные породы. Затем он различал: I. «Плутонические нормальные» породы, включающие гнейсы, слюдяные сланцы, гранито-гнейсы и первозданные граниты. II. «Плутонические побочные» — базальты, граниты, порфиры и др. III. «Неплутонические породы» — осадочные, обломочные, рыхлые и цементированные.

Эта классификация почти полностью совпадает с классификацией Ч. Лайеля и, вероятно, была у него заимствована. Классификации, приведенной в учебнике Д. И. Соколова, придерживалось большинство русских геологов.

В России важное значение для развития петрографии имели исследования геологов, посвященные региональной геологии, т. е. описанию распро-

странения и залегания горных пород и полезных ископаемых. К ним относится работа И. Ковригина (1830) о связи гранитов и оловорудных месторождений в Забайкалье, давшего также классификацию, построенную на структурных признаках и отчасти минералогическом составе горных. Работы Э. К. Гофмана и Г. П. Гельмерсена (1835 г.), В. П. Соболевского (1843 г.) и Г. Е. Щуровского (1841 г.) касаются горных пород Уральского хребта; работа Н. В. Шырокшина (1835 г.) — горных пород побережья Белого моря — амфиболитов, диабазов, афанитов, сиенитов, различающихся по цвету, сложению, величине зерна и условиям залегания; работа Д. Ф. Макеровского (1843 г.) — горных пород района Змеиногорского рудника на Алтае, имеющих переходы от гранитов к порфиритам, от глинистых сланцев к хлоритовым и тальковым; работа М. М. Козицкого (1848 г.) — горных пород Нижней Тунгуски в Сибири, Г. Розе — щелочных пород — миаскитов (впервые обнаруженных в России в районе р. Миасса на Урале), Г. В. Абиха (Abich, 1943) — вулканических пород, химического состава и полевых шпатов, имеющих значение для диагностики состава изверженных пород. В этих работах поднимаются уже вопросы о происхождении разных горных пород, в частности о плутоническом (В. П. Соболевский, Д. Ф. Макеровский) или метаморфическом (П. С. Усов) происхождении гранитов.

В 1847 г. в Германии вышел в свет «Учебник геогнозии» К. Ф. Наумана, который применял термин «петрография» (Petrographie, или Gesteinslehre), считая ее уже к тому времени крупной отраслью геогнозии. Он делил её на отделы, касающиеся минералогического состава, структуры, условий залегания, систематического описания, изменений и происхождения горных пород. Последний отдел был назван им петрогенией. Породы Науман разделял на кристаллические, кластические, прочие (включая аморфные, зоогенные и фитогенные). Во втором издании учебника Науман несколько видоизменил эту схему и разделил породы на два главных класса: протогенные (первичные) и дейтерогенные (вторичные).

Эти классы отличаются от деления пород, принятого К. Гайдингером в 1787 г. Класс протогенных пород Науман по минералогическому составу делит на шесть порядков: 1) лед; 2) галоиды; 3) кварц; 4) силикаты; 5) руды; 6) уголь. Эти порядки подразделяются им в свою очередь на семейства, также по минералогическому составу, а структурный признак используется только для детальных более мелких делений.

Начиная с работ Гаюи через Кордье и Ал. Броньяра во Франции, а от Леонгарда в Германии развивалось минералогическое направление в петрографии. Исследования Леонгарда повлияли на дальнейшее развитие петрографии в Германии, и многие введенные им термины применяются до сих пор в том же понимании. Однако классификация Леонгарда не была принята в широких кругах, хотя некоторые особенности ее можно найти в группировке пород, разработанной позднее Циркелем и Розенбушем.

Кордье был авторитетом во Франции по вопросам петрографии в течение большей части первой половины XIX в., хотя сам он так и не опубликовал своей схемы классификации. Между тем влияние Ал. Броньяра как петрографа, классификацией которого по существу пользовались все, было значительно слабее.

Труд К. Ф. Наумана (1850) знаменовал особый — петрологический этап развития петрографии. Методика систематизации горных пород Наумана существенно отличается от методики Леонгарда. Науман был противником Ал. Броньяра и Леонгарда в вопросе о необходимости самостоятельного изучения пород вне их геологических связей. Он восстанавливал точку зрения Вернера, согласно которой научное исследование пород являлось неотъем-

лемой принадлежностью геогнозии; классификация их, по его мнению, должна основываться в первую очередь на широких общегеологических построениях, независимо от возможности рассмотрения пород с разных точек зрения в отношении их генезиса, природы и т. д. Труд Наумана имел большое влияние на формирование геологической и петрологической мысли Германии. Принятое Науманом крупное деление пород на протогенные и дейтерогенные впоследствии было принято К. А. Лоссеном, Г. Розенбушем из чисто петрологических и геологических соображений.

Одной из важных проблем петрографии и даже всей геологии является происхождение гранитов. Эта проблема в период 1840—1850 гг. привлекла внимание значительного количества исследователей.

Как известно, А. Вернер, считал граниты и базальты результатом механического и химического осаждения из вод океана. Геттон в «Теории земли» считал, что граниты имеют «огневое» происхождение, что, по его мнению, доказывают гранитные жилы и вмещающие породы, измененные действием жара. Точно так же и базальты он считал поднимавшимися в расплавленном виде из глубин земли и остывавшими под значительным давлением морской воды; поэтому, как он думал, они не обладают пористостью обычных наземных лав.

Французские ученые XIX в. Эли де Бомон (Elie de Beaumont, 1847), Ж. М. Дюроше (Durocher, 1845—1846), А. Добре (1841, 1879 гг.), В. Фурне, (1844 г.) и работавший в Норвегии немецкий ученый Т. Шерер (Scheerer, 1847), а также ряд других исследователей творчески работали над проблемой происхождения гранитов уже на новых основаниях. В 1847 г. интересную сводку гипотез дал Эли де Бомон в докладе во Французском геологическом обществе. Основные и главные темы, связанные с генезисом гранитов, которые пытались разрешить научные представители Франции, Норвегии, Англии и других стран, можно выразить в современном понимании в следующем виде: 1) последовательность кристаллизации минералов при формировании гранитных массивов; 2) вода в гранитах; 3) происхождение и роль газообразных химических соединений в гранитах; 4) генезис рудных месторождений в связи с происхождением гранитов.

Еще С. Брейслак в 1822 г. возражая плутонистам, указывал на необычность в последовательности выделения кварца, который судя, по структуре гранитов, выделяется последним, а по представлениям плутонистов он должен выделяться первым. Точно так же Т. Шерер (Scheerer, 1847), основываясь на опытах Платтнера, возражал плутонисту В. Фурне против возможности для кварца оставаться в жидком или пластическом состоянии в конце формирования гранитов.

Для объяснения структуры гранитов, обусловливаемой, как многие полагали, последовательностью выделения минералов, были в то время выдвинуты следующие гипотезы.

Гипотеза переохлаждения находила поддержку плутониста Фурне, который утверждал, что кварц после расплавления остается жидким до температуры, гораздо более низкой, чем температура его плавления. Это явление он называл «surfusion». Гипотеза понижения точки плавления минералов в зависимости от примесей, согласно Эли де Бомону (Elie de Beaumont, 1847), допускает «переохлаждение», которое можно назвать «химическим, или желатинообразным, переохлаждением». Последнее обусловливается химическим воздействием веществ, находящихся в растворе вместе с кремнекислотой, которая в виде кварца выделяется при более низкой температуре его плавления.

Ж. М. Дюроше в 1845 г. сравнивал физическое состояние гранита перед его застыванием с физическим состоянием шлаков, которые остаются жид-

ками ниже точек плавления составляющих их веществ. Расплавленный гранит, по его мнению, остается в жидком состоянии ниже температуры плавления всех минералов, в частности полевого шпата и слюды.

Эли де Бомон в 1845 г., ссылаясь на Дюроше, сам склонялся к его же объяснению, утверждая, что магма гранитная является раствором, принимая вместе с тем желатиноподобное состояние магмы. Т. Шерер был сторонником представлений о значительном участии воды в первоначальном веществе гранитов, в гранитном тесте, считая в нем содержащуюся в нем воду первичной.

Наоборот, плутонистам трудно было согласиться с мыслью о первоначальном содержании воды в гранитной магме. Эли де Бомон считал, что вода должна содержаться в значительных количествах; он думал, что даже при небольшом количестве воды возможны значительные изменения в физическом состоянии гранита.

Таким образом мы видим, что исследователи того времени довольно глубоко вникали в проблему гранитов, и научные воззрения были далеко не наивными, а так называемые плутонисты и нептунисты уже шли на компромиссы, желая сделать представления о гранитах удовлетворяющими большинство исследователей.

Концепция о метаморфическом образовании гранита развивалась в этот период в работах Т. Вирле д'Ау (1845, 1847 гг.), Т. Шерера (Scheerer, 1847), русского ученого С. С. Куторги (1858) и др. Учение о метаморфизме зародилось еще в ранних работах геологов. Само понятие о метаморфизме берет свое начало от Геттона (Hutton, 1788), касавшегося интрузивного термального метаморфизма около жил гранита. По свидетельству Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, «вопрос о происхождении этих пород так тесно связан с крупнейшими проблемами геологии, в частности и с игравшей в истории геологии столь видную роль борьбой плутонистов и нептунистов, что к этой проблеме должны были подходить с разных сторон не только петрографы, но почти все выдающиеся геологи» (Левинсон-Лессинг, 1950, стр. 219). О метаморфизме и о метаморфических породах писали многие геологи первой половины XIX в.

Француз А. Буэ в «Геологических очерках о Шотландии» (Boue, 1822) один из первых применил термин «метаморфизм» и считал, что значительная роль в этом явлении принадлежит температуре и давлению, а также газам и парам, действующим в процессах глубинного метаморфизма. Однако общепризнано, что основоположником этого учения является Лайель. Он назвал эти породы метаморфическими, а комплекс изменений, обусловивших их появление — метаморфизмом. Лайель (Lyell, 1830—1833), а также Эли де Бомон (Elie de Beaumont, 1847) и другие объясняли происхождение кристаллических сланцев процессами метаморфизма.

Л. Бух (Buch, 1825), исследуя Южные Альпы, пришел к заключению, что доломит произошел из известняка под действием вулканических пород. Буху тогда возражали английские геологи, поскольку происхождение флёцеобразного цехштейнового доломита объяснялось ими без вулканического влияния.

Обстоятельную попытку объяснения метаморфизма совместным действием температуры, давления и воды дал Шерер в 1847 г. Позднее же, для подтверждения метаморфических явлений, Добре подвергал силикаты действию водяных паров под большим давлением, растворял и кристаллизовал новые соединения при температуре более низкой, чем температура их плавления.

Различные виды метаморфизма выделили К. Гайдингер в 1785 г. и К. Ф. Науман в 1849 г.— аногенный, Р. Бунзен в 1847 г.— гидатокаустический и пирокаустический, Морлот в 1847 г.— латентный.

Значительное влияние на развитие учения о метаморфизме и метаморфических породах оказали Дюроше и Добре, говорившие о контактовом метаморфизме и анаморфизме. Ардуино в 1779 г. и Доломье (Dolomien, 1791), писавшие о метаморфизме доломитов, Д. Маккулох в 1819 г.— о «метаморфических» породах Западной Ирландии и Шотландии, Д. Холл в 1805 г. для подтверждения метаморфизма проводил эксперименты над осадочными карбонатными породами, затем Штудер в 1827 г. писал о метаморфических мезозойских породах, А. Седжвик в 1835 г. — о метаморфизме осадочных пород, Д. Шарпе в 1847 г.— о кливаже, Л. Бух в 1825 г.— о метаморфизме известняков, Д. И. Соколов (1839) указывал на то, что осадочные породы изменяются в процессе воздействия «огненных пород».

Итак, в середине XIX в. получила развитие новая отрасль геологии — петрография, в частности учение о метаморфических породах.

МИНЕРАЛОГИЯ

Переломный момент, положивший начало новому периоду в развитии минералогии, который по своей главной задаче и основному содержанию следует назвать химическим, начался почти на рубеже XVIII и XIX столетий. Он отличался решительным проникновением идей и методов новой, количественной химии в минералогию и дальнейшей дифференциацией науки. В первой четверти XIX в. в качестве самостоятельных наук из старой описательной минералогии выделились палеонтология, кристаллография и петрография. Первая совершенно отошла от минералогии в область геологии, две другие, напротив, были с ней связаны, особенно кристаллография, целиком, базирующаяся весь этот период на изучении природных многогранников и являвшаяся по существу одним из важнейших направлений и методов исследования в минералогии XIX в.

Переход от качественного к количественному анализу химического состава минералов, который стал быстро развиваться после открытия трех главных стехиометрических законов химии — закона эквивалентов (И. В. Рихтер), постоянных отношений (Ж. Л. Пруст) и кратных отношений (Д. Дальтон), — позволил когорте замечательных химиков и минералогов за несколько десятилетий детально изучить химический состав большинства известных минералов.

В результате столь активной деятельности был определен точный химический состав свыше сотни ранее известных минералов и многочисленных вновь открываемых минеральных видов и разновидностей, общее число которых за первую половину XIX в. более чем утроилось и достигло почти 450. Особенно много новых минеральных видов было открыто в классе сульфидов, окислов, сульфатов, фосфатов и силикатов. В ходе анализа минералов ученые за этот период открыли 28 новых химических элементов (Li, Na, K, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, B, Al, Si, Th, U, V, Nb, Ta, Se, Br, I, Rh, Ru, Pd, Os, Ir и редкоземельные La, Ce, Tb, Er) и определили их атомные веса.

Общий подъем в развитии горной промышленности и поиски новых месторождений руд и минерального сырья, характерные для XIX в., несомненно оказали положительное влияние на быстрое развитие минералогии. Однако поворот на химическое направление в ее развитии и в связи с этим очевидный скачок вперед целиком определялись общим ходом эволюции знаний о природе неорганического вещества вообще, естественным диалектическим переходом от чисто внешнего (физического) его восприятия к познанию внутренней природы—химического состава со всеми особенностями и закономерностями последнего. Поскольку основными (и почти единственными в

тот период) объектами изучения неорганического вещества были минеральные индивиды, то они и подвергались интенсивному и всестороннему химическому анализу. Минералогия и минералоги оказались при этом не просто пассивно втянутыми в русло бурно развивавшейся химической теории, а приняли в ней самое активное и творческое участие. Не случайно, что большинство крупнейших химиков, как, например, Т. Бергман, Р. Кёрван, В. М. Севергин, И. Я. Берцелиус, Г. Розе, В. Гайдингер, Ф. С. Бедан, Р. Ф. Герман и многие другие, были тогда ведущими минералогами.

Крупнейшим ученым в области химии и минералогии первой трети XIX в. был И. Я. Берцелиус, сочетавший в себе большие способности теоретика и выдающегося экспериментатора, рассматривавшего минералогию как химию неорганических соединений земного шара.



И. Я. Берцелиус

В борьбе с защитниками динамической и других идеалистических теорий И. Я. Берцелиус отстаивал и развивал дальше атомистическую теорию Д. Дальтона и достиг больших успехов, разработав новую, передовую по тому времени электрохимическую теорию химических соединений, базирующуюся на дуалистическом принципе взаимодействия положительной и отрицательной составных частей (Berzelius, 1820). Применив атомные веса, химические знаки (символы) элементов и формулы химических соединений, которые очень быстро восприняли все передовые минералоги, он первый предложил в 1815 г. подлинно химическую классификацию минералов (Berzelius, 1815). В ней он расположил все минералы по электроположительным составным частям, а позже, в 1824 г., после открытия явления изоморфизма, улучшил ее, распределив минералы по электроотрицательным элементам и выделив два класса — бескислородные и кислородные соединения. Он первый отнес минералы, содержащие кремнезем, к солеобразным соединениям и указал на двойственную роль в них алюминия.

Коренная перестройка на строгой химической основе всей предшествующей минералогии, которая по выражению И. Я. Берцелиуса «была описью неточно определенных продуктов неорганической природы», захватила ученых всех передовых стран. Классификация минералов, как концентрированное выражение понимания их природы, стала перестраиваться. Близкими по содержанию к системе Берцелиуса были классификации минералов: в Германии — Л. Гмелина, во Франции — Ф. С. Бедана, в России — Д. И. Соколова. Более удачными классификациями, в которых была полнее учтена химическая аналогия электроотрицательных элементов и добавлена также в качестве определяющего признака кристаллическая форма минералов, явились схемы Г. Розе (1852 г.) и после ряда усовершенствований, Д. Дэна (1850—1854 гг.). Д. Дэна выделил следующие классы: 1) самородные ве-

щества; 2) сернистые и мышьяковистые соединения; 3) галоидные соединения; 4) кислородные соединения и 5) органические вещества. В дальнейшем, со второй половины XIX в., химическая классификация минералов Д. Дэна (как и близкая к ней система Г. Розе) стала фактически основной для всех минералогов на долгие годы.

Широко распространились новые методы диагностики минералов, основанные, помимо внешних признаков, на применении паяльной трубки и точного химического анализа. Были изданы специальные руководства по определению минералов, сыгравшие большую роль для диагностики их в полевых условиях. Вслед за первым «карманным» сочинением такого рода в России, каким явилась книга В. М. Севергина «Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках» (1816), вышли полные определители минералов с помощью паяльной трубки сначала Ю. Гана — И. Я. Берцелиуса (1820 г.), а затем Э. Гаркорта (1827 г.) и К. Ф. Платнера (1835 г.).

В связи с количественными методами анализа в этот период была установлена значительно более строгая, чем прежде, химическая тождественность минералов. Это потребовало изменения представлений Линнея и выработки новой формулировки понятия минерального вида и разновидности, которые были даны сначала в 1801 г. Р. Ж. Гаюи, потом И. Я. Берцелиусом, Д. И. Соколовым (1832) и др. Одновременно подвергалось уточнению и общее определение понятия «минерал», поскольку в результате дифференциации науки из числа объектов минералогии были целиком исключены все окаменелости и большая часть горных пород.

Точность в химической характеристике минеральных видов, применение точных методов измерения в физике явились важными стимулами детального изучения физических свойств минералов, тем более что в XVIII в. в этом отношении был накоплен большой описательный материал.

Изобретение В. Никольсоном в 1787 г. гидростатических весов позволило значительно точнее определять удельные веса минералов. В 1813 г. Л. И. Панснер, основатель Санкт-Петербургского минералогического общества, измерил удельные веса свыше 200 минералов, а также, употребив четырехступенчатую шкалу твердости (алмаз, сталь, медь, свинец), определил твердость около 400 минеральных видов и разновидностей (Pansner, 1813). Работу по определению точного удельного веса минералов продолжал затем Ф. А. Брейтгаупт. В 1822 г. К. Ф. Моос предложил десятибалльную шкалу твердости, которая приобрела повсеместное признание, и все минералы получили новую точную характеристику, очень важную для их диагностики. Вскоре, однако, началось исследование твердости кристаллов минералов более точными склерометрическими методами на специальных приборах, которые были сконструированы в 1833 г. А. Зеебеком и в 1850 г. Р. Францем.

В начале XIX в. были заложены также основы кристаллооптики минералов, чему способствовали успехи в области теории света, волновая природа которого нашла окончательное подтверждение в работах Т. Юнга и О. Ж. Френеля, и достижения в области кристаллографии. После установления Р. Ж. Гаюи оптической изотропности кубических кристаллов и Э. Л. Малюсом поляризации света И. Бернгарди выделил одноосные, а Ж. Б. Био и Д. Брюстер в 1812—1813 гг. обнаружили двуосные минералы. В 1808 г. П. Л. Кордье установил явление многоцветности некоторых минералов, на основе которого Д. Брюстер и Д. Гершель развили учение о плеохроизме. В 1811 г. Д. Ф. Араго обнаружил вращение плоскости поляризации света в кварце, а в 1821 г. Д. Гершель нашел зависимость между правыми и левыми формами и направлением вращения. Однако точную связь между симметрией кристаллов и их оптическими (и другими векториальными)

свойствами установил в 1833 г. Ф. Э. Нейман, после того как У. Николь использовал в 1828 г. исландский шпат для изготовления призм к поляризационному микроскопу.

Кристаллографическое направление в минералогии после капитальных работ Ж. Б. Роме де Лиля и Р. Ж. Гаюи стало успешно и быстро развиваться. Благодаря использованию сначала прикладного, а затем отражательного гониометров стало распространенным геометрическое исследование природных кристаллов.

К кристалломорфологическим проблемам минералогии относятся и такие явления, как изоморфизм и полиморфизм, открытые Э. Митчерлихом в 1819—1821 гг., о которых немного знали и раньше, но не обращали надлежащего внимания, поскольку они противоречили авторитетным утверждениям Р. Ж. Гаюи о постоянстве кристаллической формы химического соединения и закону постоянства состава Ж. Л. Пруста. Однако обобщение природных фактов и экспериментальные исследования Э. Митчерлиха заставили ученых отказаться от догматического следования упомянутым законам и дать объяснение этим явлениям. Изоморфизм по Митчерлиху — это тождественность форм кристаллов, имеющих аналогичный состав и одинаковый способ соединения соответствующих атомов, на основании чего в минералах возможно взаимное замещение аналогичных атомов. Природа полиморфизма оставалась в то время неясной, хотя М. Л. Франкенгейм и указал в 1830 г. на аналогию между точками структурного перехода твердых тел и точками их плавления.

Следует отметить, что наряду с кристаллографическим направлением в минералогии во второй четверти XIX в. стала принимать вполне определенные контуры и наполняться содержанием самостоятельная наука — кристаллография, объектом изучения которой было кристаллическое вещество вообще, а не только природные многогранники. С 20—30 годов XIX в. она стала в высших учебных заведениях всех стран преподаваться отдельно от минералогии.

Примитивные представления о генезисе минералов, господствовавшие в XVII — XVIII столетиях, в XIX в. также заметно изменились, постепенно перестраиваясь на химической основе. Правда, в начале XIX в. больше обращалось внимание не столько на способы образования, сколько на условия нахождения минералов в природе и особенно на их парагенезис, так как в последнем видели надежное подспорье для практической деятельности горных инженеров.

В России проблема парагенезиса минералов появилась в печати несколько раньше, чем за рубежом, в книге В. М. Севергина (1798) под названием «смежности» минералов. Однако попытки дать объяснение подмеченным закономерностям в этом отношении относятся уже ко второй четверти XIX в. Так, утверждение, что в основе парагенезиса (и антигенезиса) минералов лежат химический состав и физические условия образования (температура и давление), мы находим в работах Д. И. Соколова (1842), В. Гайдингера (Haidinger, 1845), Г. Х. Фольгера (Volger, 1854) и других. Большую работу по парагенезису, преимущественно статистического характера, опубликовал И. Ф. Брейтгаупт (Breithaupt, 1849). Существенную роль в понимании генезиса минералов и химической взаимосвязи (преемственности) при замещении минералов сыграли детальные исследования псевдоморфоз А. Э. Делесса и, в особенности, И. Р. Блюма и Г. Винклера, а также первые экспериментальные работы по синтезу минералов, осуществленные И. Н. Фуксом (1817 г.), Ф. С. Беданом (1818 г.), П. Бертье, Э. Митчерлихом (1827—1834 гг.), Ф. Вёлером, Ж. Эбельменом и А. С. Бекерелем.

В этот же период появились первые работы и систематические сводки по топографической минералогии различных стран, как, например, России (Севергин, 1809), Швеции (В. Хисингер, 1808 г.), Финляндии (Н. Норденшельд, 1820 г.), Америки (С. Робинсон, 1825 г.), Урала и Алтая (Г. Розе, 1837—1842 гг.), штата Нью-Йорк в Америке (Л. К. Бек, 1842 г.) и другие, а также более общая работа, опубликованная Г. Леонгардом (Leonhard, 1843).

Перестройка минералогии на химической основе и резко ускорившийся темп ее развития (за первую половину XIX в. открыто и изучено минералов было больше, чем за все предшествующие столетия) заметно сказались на росте ее популярности в широких научных кругах, что проявилось в сильно возросшем количестве научных публикаций и улучшении ее преподавания в высших учебных заведениях. Это был период начала учреждения в передовых странах мира минералогических обществ и создания новых научных журналов (не только минералогических, но и химических, геологических и др.), существенно способствовавших дальнейшему прогрессу минералогии и тесно связанных с нею наук.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Теория Р. Ж. Гаюи о строении кристаллов, состоящих, по его мнению, из молекул параллелепипедальной формы, подверглась критике со стороны немецких кристаллографов во главе с Х. Вейсом, отрицавшим атомистическую гипотезу и исходившим исключительно из наблюдений над внешними формами кристаллов.

Несмотря на это, Вейсу удалось открыть закон поясов, лежащий в основе учения о кристаллографических зонах.

Выдающейся заслугой Вейса является также установление кристаллографических систем (сингоний), описанных в статье «Наглядное изложение естественного деления систем кристаллизации» (1813—1815 гг.).

Вскоре после выхода в свет работы Вейса начались споры по поводу приоритета установления сингоний. Одни приписывали честь этого открытия Вейсу, другие указывали на то, что еще до опубликования статьи Вейса профессор минералогии в Вене Ф. Моос в своих лекциях подразделял кристаллы на те же системы. В «Основах минералогии» в 1822 г. Моос описывал свою классификацию кристаллов. Как и Вейс, он определял кристаллические формы с помощью кристаллографических осей, но для моноклинных и триклинных кристаллов принимал косоугольные системы. В этом отношении он сделал шаг вперед по сравнению с Вейсом.

Классификация кристаллографических систем по координатным осям без учета симметрии привела к тому, что некоторые авторы (Э. Митчерлих, К. Ф. Науман, Н. И. Кокшаров) выделяли особую диклиноэдрическую систему, характеризовавшуюся двумя косыми углами с одним прямым углом между кристаллографическими осями. Несостоятельность выделения такой системы была впоследствии доказана А. В. Гадолиным.

Многочисленные последователи Вейса и Мооса (К. Ф. Науман, Г. Розе и др.), отказавшись от теоретических обобщений, посвятили себя всецело изучению и описанию кристаллических форм. В отличие от исследователей более раннего времени, они обращали особое внимание на математически точную характеристику кристаллов, полученную на основе измерений их угловых величин. Последнему в особенности способствовало появление однокружных отражательных гониометров Г. Волластона и Э. Митчерлиха, позволявших производить измерения с точностью до минут. В результате таких

работ был собран колоссальный фактический материал по кристаллографии минералов и искусственных веществ.

К ученикам Вейса и Наумана примкнул и русский кристаллограф-минералог Н. И. Кокшаров. Горный инженер по специальности Н. И. Кокшаров ясно осознавал практическую важность точного изучения и описания минералов в связи с открытиями новых уральских и сибирских месторождений. Тем самым он явился основателем математически точного описательного кристаллографического направления в русской минералогии. Научные труды его собраны в 11 томах «Материалов для минералогии России» (1853—1891). «Материалы» и до сих пор являются незаменимым пособием при изучении минералогии нашей страны. В них мы находим описание 400 с лишним минералов с огромным списком угловых величин, измеренных автором. Описательная часть сопровождается обширным атласом с изображениями кристаллов, спроектированных самим ученым. По мысли Кокшарова, этот атлас должен давать «полную картину кристаллизации отечественных минералов». Однако главную ценность этого труда, которая сохранилась полностью и для нас, составляют результаты гониометрических измерений, стоящие и до сих пор в числе наиболее точных и совершенных в области минералогической кристаллографии. По поводу этих измерений В. И. Вернадский писал: «Своих результатов он сумел достигнуть строгим и умным выбором материала для исследования. Путем точных исследований образцовых кристаллов Кокшаров положил прочный фундамент навсегда для точных обобщений в данной области» (Вернадский, 1892, стр. 506).

Последователем и продолжателем Н. И. Кокшарова был профессор минералогии Горного института П. В. Еремеев. В своих многочисленных работах (число их достигает 300) он описал огромное количество отечественных минералов. Так же как и Кокшаров, Еремеев обращал внимание главным образом на точное морфологическое описание кристаллов, отказываясь от обобщающих теорий.

Внимание кристаллографов и минералогов, занимавшихся точными гониометрическими измерениями, привлекали в первую очередь хорошо образованные кристаллические многогранники. В поисках точных кристаллографических констант ученые сознательно игнорировали несовершенные образцы, выбирая из имеющегося материала лишь экземпляры, наиболее близко подходящие к геометрически правильным плоскостным многогранникам. Именно так работали Н. И. Кокшаров, П. В. Еремеев и другие представители описательной школы.

Несовершенства реальных кристаллов, их отклонения от идеализированных геометрических моделей рассматривались как досадные усложнения, затрудняющие изучение кристаллических образований. В связи с этим имена немногих ученых, занимавшихся «уродливыми» кристаллами, долгое время оставались в тени. Только сейчас, когда учение о реальном кристалле начинает привлекать особое внимание, эти имена вспоминаются снова.

В России основоположниками такого направления были в Московском университете М. А. Толстопятов, а в Петербургском — М. В. Ерофеев и А. Н. Карножицкий. Работы этих кристаллографов до самых последних лет оставались непризнанными и незамеченными. М. А. Толстопятов открыл задолго до Ф. Бекке пирамиды роста кристаллов («криптопирамиды»). М. В. Ерофеев стал автором оригинального учения о «скучивании кристаллов». Первый тезис этого учения, развитого в монографии 1870 г. «Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов» гласит: «Кристалл не есть математическое неделимое неорганизованного вещества, а есть сросток, куча». В этом тезисе мы находим понятие, близкое к совре-

менным представлениям о строении реального кристалла. Направление М. В. Ерофеева развивал талантливый, но рано погибший А. Н. Карножицкий.

Из исследователей реальных кристаллов назовем А. Зеебека, выдвинувшего вопрос о строении кристаллов из субиндивидов, А. Скакки, открывшего вициналъные образования, О. Лемана, развивавшего теорию роста кристаллов вообще и скелетных форм в частности, Г. Баумгауера, изучавшего фигуры травления, Ф. Бекке, установившего понятие о пирамидах роста и др.

Параллельно с гониометрическими исследованиями кристаллов успешно развивалось и изучение их оптических свойств.

Уже Гаюи показал, что вещества кубической сингонии являются оптически изотропными. И. Бергнарди обнаружил единственную оптическую ось в кристаллах средних сингоний. Е. Малюс установил двуосность кристаллических представителей низших сингоний. Ж. Био обобщил их открытия. Шотландский физик Д. Брюстер положил начало изучению интерференционных фигур в сходящемся свете. Теоретическое истолкование этих фигур дали впоследствии Д. Гершель, Д. Эри и Ф. Нейман.

Огромное значение для понимания световых явлений в кристаллах имели работы Т. Юнга и в особенности учение об оптическом эллипсоиде, выдвинутое французским инженером О. Френелем.

В 1811 г. Д. Араго открыл вращение плоскости поляризации света в кристаллах кварца. Позднее Д. Гершель заметил, что правовращающие кварцевые кристаллы характеризуются развитием правых трапецоэдрических граней, а левовращающие — левых.

Впоследствии знаменитый Л. Пастер на примере кристаллических многогранников винной кислоты окончательно установил связь между правизной и левизной вращения плоскостей поляризации кристаллов и их наружной формой. Это открытие позволило более глубоко судить о внутреннем строении кристаллов.

В 1828 г. У. Николь изобрел прибор для поляризации света — призму из исландского шпата, носящую ныне его имя. Несколько позже И. Нерренберг сконструировал поляризационный прибор для исследования оптических свойств кристаллов. Дальнейшее усовершенствование и развитие этого прибора привело к созданию поляризационного микроскопа, являющегося и сейчас одним из основных аппаратов в кристаллографических, минералогических и петрографических лабораториях.

Возвращаясь к развитию кристаллографии в целом, напомним, что на фоне формальной школы Х. С. Вейса и его последователя К. Ф. Наумана совершенно терялись единичные попытки отдельных ученых подвести обобщающую теоретическую базу под огромный материал, накопленный в результате наблюдений и исследований.

В 1830 г. И. Ф. Гессель полностью разработал и опубликовал в физическом словаре теорию симметрии для конечных фигур, а в том числе для кристаллических многогранников. Однако среди его современников эти замечательные результаты прошли совершенно незамеченными. По словам Е. С. Федорова, «поразительная неподготовленность большинства минералогов к восприятию идей, имеющих математическую подкладку, сделала бесполезным для науки труд Гесселя» (Федоров, 1904, стр. 12). Лишь через 60 лет после опубликования его работы кристаллографы заново открывают ее.

Не нашли своевременного признания и работы французского кристаллографа О. Браве. Будучи морским офицером и занимаясь метеорологией, Браве заинтересовался формами снежинок. Их изучение и натолкнуло его на создание теории симметрии и кристаллического строения.

В своем мемуаре «О многогранниках симметричной формы» он, независимо от Гесселя, попытался вывести все совокупности элементов симметрии для конечных фигур. Однако Браве не дал исчерпывающего определения симметрии, ограничившись лишь перечнем известных ему элементов симметрии для конечных фигур. Согласно ему «симметричный многогранник должен обладать либо центром симметрии, либо одной или несколькими осями симметрии, либо одной или несколькими плоскостями симметрии» (Bravais, 1866, стр. XXIII). Как видим, в наборе перечисленных Браве элементов симметрии отсутствуют оси сложной симметрии (инверсионные, или зеркально-поворотные оси). Последнее не могло не отразиться на результатах вывода видов симметрии для конечных фигур (так называемых точечных групп). Так, вместо известных нам 32 видов кристаллографической симметрии Браве вывел только 31, пропустив инверсионно-примитивный вид тетрагональной сингонии.

Главным достижением О. Браве является его учение о пространственных решетках, развитое в работе 1850 г. «Мемуар о системах точек, правильно распределенных на плоскости или в пространстве». Способность кристаллов сжиматься и расширяться при изменении давления и температуры навела ученого на мысль о прерывности кристаллического пространства. Если бы кристаллы состояли из вплотную прилегающих друг к другу «кирпичиков»— молекул, они не могли бы сжиматься. На основании таких соображений Браве заменил многогранные молекулы Гаюи центрами их тяжести. С этими центрами и должны совпадать центры структурных единиц в кристаллах. Исходя из тождественности свойств кристалла вдоль параллельных направлений, он предположил, что строящие его элементарные частицы располагаются по таким направлениям строго одинаково. По непараллельным же направлениям свойства кристалла в общем случае различны (анизотропность), а следовательно, и расположение частиц здесь должно быть различным. Представив себе такое расположение частиц в пространстве, можно прийти к хорошо известной пространственной решетке.

Принимая во внимание геометрические разновидности возможных решетчатых систем (параллелепипедальных систем точек), Браве вывел 14 типов пространственных решеток, носящих ныне его имя (несколько менее полный вывод решеток дал немецкий кристаллограф М. Франкенгейм). Особенно поразительным оказалось совпадение типов решеток по их симметрии с семью кристаллографическими системами (сингониями), найденными ранее Вейсом и Моосом. Это совпадение привело Браве к убеждению, что ему удалось вывести все возможные вообще типы реальных кристаллических структур. Однако вскоре же обнаружились и недочеты его теории. Решетки Браве в отношении своей симметрии соответствуют лишь полногранным видам симметрии, тогда как строение кристаллов, обладающих более низкой симметрией (например, пирамидальных форм), осталось без объяснения.

Сейчас известно, что решетки Браве отвечают совокупностям свободных трансляций. В кристаллических структурах они связывают между собой лишь однородные и параллельно ориентированные элементарные частицы.

Несмотря на это ограничение, теория решетчатого строения кристаллов Браве занимает почетное место в истории кристаллографии и играет существенную роль в современной науке о структуре кристаллов.

Полное забвение трудов Гесселя привело к тому, что 38 лет спустя после появления его основной работы наш соотечественник, крупный военный специалист, профессор артиллерийского училища и академик А. В. Гадолин вторично открыл геометрические законы симметрии для конечных кристаллических тел. В его классическом труде 1867 г. «Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала» раз и на-

всегда было установлено наличие 32 видов конечной кристаллографической симметрии.

Сравнивая теоретически выведенные 32 вида симметрии со всеми известными тогда кристаллическими веществами, Гадолин нашел, что последние совпадают с 20 видами симметрии. В настоящее время мы знаем представителей для всех 32 видов симметрии, предусмотренных в работе Гадолина, и среди всех известных веществ не имеем ни одного исключения из этих законов.

УЧЕНИЕ О РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Центром научной школы по изучению рудных месторождений, как и в конце XVIII в. являлась Саксония, где в широком масштабе эксплуатировались серебро-свинцовые и частью оловянные рудники. Науку о рудных месторождениях там представляла плеяда учеников Вернера во Фрейбергской горной академии.

В первой четверти XIX в. важный вклад внесли в рудную геологию русские (Д. И. Соколов,), а затем — французские (Эли де Бомон, Добре) ученые. Горячие дискуссии между плутонистами и нептунистами в значительной мере касались и происхождения рудных месторождений. К 1802 г. относится издание иллюстраций к теории Д. Геттона, опубликованной Д. Плейфером, в которой популяризовались взгляды плутонистов. В отношении генезиса руд теория Геттона имела существенно слабые стороны, которые не согласовывались с фактическим материалом. С его позиций трудно было объяснить полосчатость и крустификацию в рудных жилах, свидетельствующие о последовательном отложении минералов.

В этом отношении теория Вернера об осаждении руд из водных растворов давала более удовлетворительное объяснение. Именно эту положительную сторону учения Вернера о жильном происхождении месторождений и развивали в дальнейшем (во второй четверти XIX в.) его ученики.

Одновременно против представлений Геттона о сухих безводных магмах выступали и геологи, изучавшие изверженные породы, которые пришли к заключению, что в составе магмы существенное участие принимает вода (Пулетт-Скроп в 1825 г., Ч. Лайель в 1833 г.).

Происхождение рудных жил из эксгаляции установил в «Геологических мемуарах о Германии» и других работах французский ученый А. Буэ. Взгляды Буэ пропагандировались в русском «Горном журнале» и находили отклик среди горных инженеров России. Но особенно полно были освещены вопросы происхождения жил или путем эксгаляции, или посредством осаждения минералов из восходящих водных растворов в трудах учеников Вернера — Л. Буха, Ж. Ф. Добюиссона де Вуазена и В. Фурне (Furnet, 1835), а также А. Гумбольдта и Д. И. Соколова.

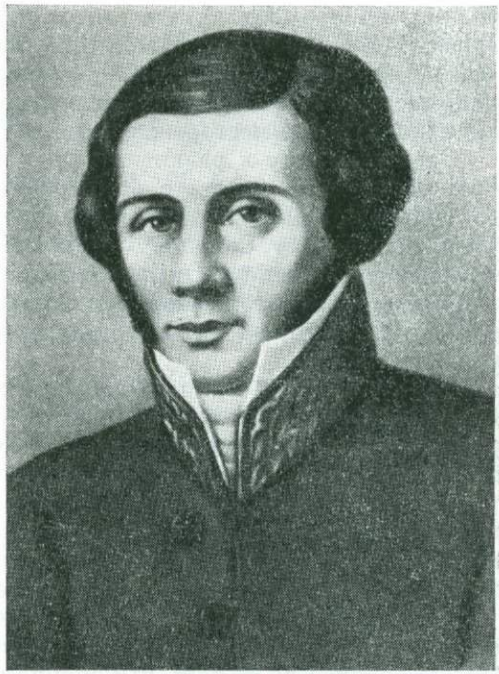
Интересно отметить, что важный фактический материал для развития подобных концепций был получен в России. Так, Гумбольдт в своем труде «Геология и климатология Азии» отмечал, что на Урале и Алтае месторождения связаны с гранитом, порфиром и сиенитом. Эти же представления заимствовал Л. А. Некер (Necker, 1826—1833).

Идеи, изложенные в книге Добюиссона де Вуазена с добавлениями Фурнэ (D'Aubisson, 1838), нашли широкий отклик в России благодаря популяризации их Д. И. Соколовым.

К представлению о возникновении руд из горячих водных растворов и эманаций приводили не только данные о тесной пространственной связи руд с изверженными породами (что уже впервые в XVIII в. отметил Делиус), но и наблюдения над эксгаляциями вулканов и данные о минералообразова-

нии в горячих источниках, которые были известны еще со времени Агриколы.

Хотя, как отмечалось, автором гидротермальной гипотезы принято считать Эли де Бомона (Elie de Beaumont, 1847), у него были многочисленные предшественники. К числу их в России относился Д. И. Соколов, автор книг по минералогии (1832) и геогнозии (1839—1842, 1842), один из создателей и руководителей «Горного журнала». Большое значение в развитии рудной науки в России имело создание квалифицированных кадров горных инженеров, которые проводили всесторонние геологические исследования рудных областей.



Д. И. Соколов

Важный вклад в изучение геологии и рудных месторождений внесли А. Гумбольдт, Б. Котта, Г. Розе и многие другие. В результате их сообщений, а также публикаций основанного в 1825 г. «Горного журнала» данные о русских месторождениях (уральская платина, цветные камни и т. д.) быстро входили в фонд мировой науки. Может быть потому, что в России наука о рудах выросла непосредственно из запросов практики, она ближе стояла к реальному отражению фактов и воспринимала самые прогрессивные идеи ученых Запада. Несмотря на то, что Россию не миновало увлечение нептунистическими идеями Вернера, русские ученые раньше, чем западные, освободились от крайних нептунистических представлений, восприняв в то же время из теории Вернера ее прогрессивную и верную часть — представление о роли воды в осаждении руд (труды Д. И. Соколова, Л. А. Соколовского).

В России первый удар по нептунистическим представлениям в области учения о рудных месторождениях нанес Д. И. Соколов, опровергнув мистические представления о связи золотоносных россыпей со всемирным потопом. Он доказал, что россыпи тесно связаны с коренным источником и определил направление для поисков коренных месторождений золота, а также для дальнейшего выявления россыпей (Соколов, 1826). Д. И. Соколов говорил о взаимосвязи осадконакопления, магматизма и тектоники, о связи образований осадочных и плутонических пород.

Интересно, что Соколову также принадлежит идея об эксгаляционно-осадочном происхождении медистых руд в песчаниках. По его мнению, металлические составные части произошли из паров в связи с магматической деятельностью.

Для работ русских геологов-специалистов по рудным месторождениям характерен региональный анализ, ибо сама природа давала в условиях России большой материал для широких обобщений по закономерностям пространственного размещения месторождений. Месторождения Соколов классифицировал, как это было принято в то время, прежде всего по форме, выделяя вместе с тем тела, образовавшиеся одновременно с вмещающими по-

родами, и более поздние. Считая главным источником металлов магматические породы, Соколов подчеркивал, что породы эти для разных областей и разных эпох различны. В трудах Соколова намечается и представление о разных генетических типах месторождений, что во многом способствовало развитию науки о рудных месторождениях в России.

Важную эпоху в развитии науки о рудах уже в самом конце описываемого периода открывает своими работами французский ученый Эли де Бомон. Подобно многим другим крупным геологам — Буху, Дюфренуа, Вернеру, Гумбольдту, Соколову—*Эли де Бомон проявлял большой интерес к* рудным месторождениям. Он вошел в историю науки как автор гидротермальной *теории происхождения руд. Однако он начал интересоваться рудными* месторождениями значительно ранее, в те годы, когда еще стоял на позициях нептунизма.

Эли де Бомону принадлежит опубликованная в 1824 г. малоизвестная книга «Взгляд на рудники», в которой дается характеристика главнейших рудных областей. Из описания рудоносных областей можно составить представление об уровне знаний по геологии и минералогии главнейших месторождений. В этом разделе приводятся интересные сведения о составе руд верхних горизонтов, ныне отработанных, но некогда богатейших серебряных месторождений южноамериканских Кордильер — таких, как Потоси, которые были баснословно богаты серебром и практически, как серебряные, уже истощились в XVIII в. Приведены сведения о богатейшем месторождении золота Гуанахуато (Мексика), состав которого в верхней части значительно отличается от того, что можно наблюдать сейчас. Описаны месторождения Забайкалья — Адунчилона и Тутхалтуя.

«*Адунчилон знаменит драгоценными камнями в рыхлом граните, они* встречаются в гнездах топаза, очень похожих на топазовые породы Саксонии... *В этих гранитах имеется большое количество жил, выполненных* железистыми глинами, которые содержат большое количество вольфрама и *много изумрудов, аквамаринов, топазов и кристаллов черного кварца*». Анализируя ассоциацию указанных минералов и отмечая сходство ее с саксонской, Эли де Бомон дает удивительно верный для того времени прогноз. «Присутствие вольфрама позволяет надеяться, что в этих горах будет найдено и олово. Но эти надежды пока еще не реализованы» (Elie de Beaumont, 1824, стр. 130, перевод наш.— *Е. Р.*).

В отношении развития новых идей эта книга далеко уступает работе Соколова. Но уже здесь им рассматриваются вопросы о возрастном взаимоотношении различных типов руд, установленных на основе пересечения разновозрастных жил и намечаются выводы о зональности (олово и медь ближе к гранитам, свинцовые жилы дальше от гранитов).

Наибольшую же славу в отношении новых открытий в теории рудных месторождений приобрел Эли де Бомон после опубликования значительно более поздней работы—«Заметки об эманациях вулканических и металлоносных» (Elie de Beaumont, 1847). В этой статье уже подробно развиваются по*ложения о происхождении рудных жил из эманаций и водных растворов*, связанных с глубинными процессами. В отличие от Соколова, который в *большей степени все же был «эксгаляционистом», хотя и признавал возможно* важную роль воды в рудообразовании, Эли де Бомон главную роль в рудообразовательных процессах отводит водным растворам.

Эли де Бомон признает, что ничего особенно нового эта статья не заключает. Однако большая роль его в развитии гидротермальной теории несомненна. Эли де Бомон как бы соединил положительное начало гипотезы Вернера о роли растворов в отложении жил и идеи Геттона о глубинном источнике рудных месторождений.

Основанием для создания новой гипотезы послужили как фактические наблюдения во многих рудных районах (хорошо обобщенные Эли де Бомоном в его прежней работе), так и наблюдения над современными эманациями действующих вулканов. Он лично наблюдал эманации из кратера Везувия и собрал накопившийся к этому времени большой материал о химизме продуктов вулканических извержений.

Эли де Бомон различал три типа источников эманации: из кратеров, из горячих лав и из трещин, указывая, что газы—хлориды, пары серной кислоты, воды — выносят из глубины соединения натрия, железа, меди и др.

Вместе с тем он выделял два типа источников минерального вещества: с одной стороны эруптивные породы, еще не остывшие, и гейзеры, а с другой— источники, связанные с явлениями, происходящими во внутренних частях Земли при высокой температуре.

Жилы он разделял на два типа: инъекционные и конкреционные. К первым относятся жилы магматических пород, таких как базальты, мелафиры и порфиры, которые интрудированы в трещины; ко вторым — собственно рудные жилы. Конкреционные жилы характеризуются полосчатым строением и представляют результат длительного выполнения трещин путем осаждения из водных растворов, как это и согласуется с гипотезой Вернера. Эти жилы слагаются симметрично отложенными полосами, в основном образованными кристаллами, повернутыми их остриями к внутренней части первичной трещины; середина трещины часто представляет пустоту. Однако эти растворы, по Эли де Бомону, связаны с магматическими породами. Он предполагал, что инкрустационные жилы могут частью выполняться газообразными эксгаляциями.

Эли де Бомон различал разные типы месторождений. Так, он говорил о месторождениях платины и других металлов платиновой группы (осмий, иридий, палладий, родий, рутений), рассеянных в основных породах Урала. На Урале же он отмечал месторождения железа и меди, приуроченные к контактам магматических пород (к подобным же выводам раньше его пришел в России Д. И. Соколов).

Он говорил о различных источниках месторождений, которые мы теперь называем гидротермальными. Так, жилы свинцовые «связаны чаще с основными породами...» они менее богаты минерализаторами и имеют более простой состав по сравнению с жилами оловоносными, которые «непосредственно связаны с гранитами или другими кислыми эруптивными породами, богатыми кремнекислотой» (Elie de Beaumont, 1847, стр. 1286, перевод наш.— *Е. Р.*).

Характеризуя жилы Корнуэлла, Эли де Бомон уже намечал зональное изменение состава жил с удалением от гранитов и выделял разновозрастные системы жил. «В Корнуэлле существует первая серия (жил.— *Е. Р.*), из которой добываются оловянные руды; эти жилы очень тесно связаны с гранитными породами; они содержат гораздо более разнообразные минеральные вещества по сравнению с другими жилами, более поздними. Вторая серия заключает жилы, которые эксплуатируются на медные руды. Эти жилы, которые иногда представляют продолжение предыдущих, еще также, хотя и в меньшей степени, приближаются к гранитам, от которых они часто уже более удалены. Жилы третьей серии называются секущими, поскольку они обычно пересекают другие, по сравнению с которыми являются более поздними. Они заключают руды свинца и кобальта, сернистую сурьму, серебряную чернь и самородное серебро» (там же, стр. 1286—1287).

Интересно, что Эли де Бомон подчеркивал эволюцию характера оруденения во времени. Исходя из представлений о расплавленно-жидком былом состоянии Земли, он отмечал, как особую стадию, развитие первичных гра-

нитов, а затем указывал, что кислые породы в прошлом имели большое значение, а современный этап характеризуется основными вулканическими проявлениями, бедными рудами, по сравнению с кислыми породами.

Эли де Бомон интересовался не только источником металлов и способами их происхождения, но отмечал и некоторые пространственные закономерности в расположении жильных систем по отношению к направлениям горных хребтов. Подмечая постоянство простирания жил и направление горных сооружений, он высказал идею о наличии крупных структурных линий в земной коре, которые, по его мнению, составляют системы, отвечающие сторонам прямоугольника.

Идеи Эли де Бомона о важности минерализаторов, которые способствовали выделению рудных элементов, в частности олова, разделял и А. Добре, который экспериментально воспроизвел перенос олова в соединении с галоидами (фтором и хлором) и распространил выводы из этих экспериментов на природные явления.

Эта работа Добре в 1845 г. переведена и напечатана в «Горном журнале» в России и получила широкий отклик среди русских геологов.

Однако, признавая значение первичных вод в формировании руд, Добре все же предполагал, что рудоносные растворы могут возникать при участии поверхностных вод, просачивающихся через земную кору до значительной глубины (Daubreé, 1860).

Представление о важной роли поверхностных вод развивал К. Г. Бишоф (Bishof, 1865). Бишоф также долгое время оставался на позиции нептунизма. Не отрицая возможности образования жил из растворов магматического происхождения или самих магм, он вместе с тем особенно концентрировал внимание на роли поверхностных вод, разбирая вопросы как условий их циркуляции, так и взаимодействия с вмещающими породами. В этом смысле Бишоф являлся одним из активных сторонников уже тогда развиваемой им латераль-секреционной гипотезы.

Широких взглядов на генезис руд придерживался Б. Котта, который был большим знатоком рудных месторождений и, в частности, много ценных материалов получил во время путешествия по России. Котта популяризовал идеи Гумбольдта в «Горном журнале», дал описание рудных месторождений Алтая. В этих, а также в последующих работах он являлся одним из активных пропагандистов теории образования рудных жил из восходящих горячих растворов, но вместе с тем допускал и другие типы процессов в образовании рудных месторождений, считая, что месторождения могут быть весьма разнообразными, и было бы неправильным ограничивать объяснение их генезиса какой-либо одной теорией.

Таким образом, к концу 50-х годов прошлого века уже достаточно определились основные направления, которые получили развитие в дальнейшем. Наметились как представители крайних взглядов об исключительной или преимущественной связи оруденения с магматическими породами, так и сторонники латераль-секреционной гипотезы, которая снова привлекла внимание к себе позднее, в период дискуссии, начатой Зандбергером.

Вместе с тем накопилось уже достаточно фактов для классификации рудных месторождений не по морфологическому, а по генетическому признаку.

К концу 30-х годов М. И. Гербером была дана классификация теорий рудообразования:

1) теория единовременного образования жил с вмещающими породами (Шталь, Циммерман, Шарпантье, Требра);

2) латераль-секреционная теория — жилы выполняют трещины за счет выщелачивания материала из боковых пород (Делиус, Герхард, Лазиус);

3) теория нисходящих вод — выполнение трещин материалом, пришедшим сверху (Бауэр, Вернер);

4) теория восходящих вод — выполнение трещин материалом, поступающим снизу.

Последняя теория подразделяется на варианты:

а) инфильтрационная теория — материал привносится минерализованными водами (к этим взглядам приближается Лазиус);

б) сублимационная теория — материал привносится в парообразном состоянии посредством сублимации (Бехер, Лейман);

в) инъекционная теория — огненно-жидкая инъекция магмы в трещины, разделяемая многими геологами после Вернера (Cotta, 1854, стр. 175, перевод наш.— *Е. Р.*).

Значительный вклад за описываемый период в теоретические исследования внесли детальные геохимические работы (Бишоф, в которых рассматривались вопросы геохимии процессов минерализации. Важное значение имели наблюдения над современными процессами (деятельность вулканов и термальных вод), а также проведенные экспериментальные работы по синтезу минералов.

Таким образом, первая половина XIX в. являлась периодом становления науки о рудных месторождениях. В дальнейшем происходило развитие направлений, наметившихся в этот период, иногда с частичным или даже полным возвратом к ранее высказанным представлениям.

НАКОПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ О НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В первой половине XIX в. продолжала развиваться сырьевая база неметаллических полезных ископаемых. Как и прежде, главную массу месторождений и новые виды неметаллических ископаемых находили практики-рудознатцы, но значительно большую роль стали играть и научные прогнозы. Особенно резко в этот период на развитии исследовательских работ в области неметаллических полезных ископаемых сказывались требования развивавшейся химической промышленности, начинавшей широко потреблять фосфорное сырье и калийные соли. Ранее калийно-магнезиальные соли считались бросовым материалом и шли в отвал. Теперь их начали не только добывать, но и успешно искать; разрабатываются теории генезиса солей; много сил тратится на поиски месторождений селитры. Наконец, развивается учение о составе и генезисе карбонатных и мергелистых пород, что крайне необходимо для развития цементной сырьевой базы.

Методы обработки сырья, как и ранее, остаются полукустарными, а размеры потребления весьма невелики; поэтому в рассматриваемый период практически отсутствует разведка месторождений сырья.

Из группы самородных элементов наибольший интерес в рассматриваемый период имела самородная сера. Почти во всем мире использовалась сицилийская сера, идущая в промышленность как непосредственно, так и в виде серной кислоты, потребность в которой резко возросла. Для получения серной кислоты первоначально использовалась самородная сера, однако развитие химии (в особенности после изобретения Н. Лебланом метода получения соды), спрос на серную кислоту резко возрос; после разработки Ж. Гей-Люссаком (1827 г.) и особенно Дж. Гловером (1859 г.) методов промышленного получения серной кислоты за счет сернистого газа стало возможным заменить серу серным колчеданом, который используется в этих целях с 1833 г.

Поиски новых месторождений серного колчедана увенчались большим успехом, и в 1855 г. были открыты крупнейшие месторождения колчедана в Испании (Рио-Тинто), которые до сих пор продолжают снабжать промышленность сырьем.

Применение минеральных удобрений началось в сельском хозяйстве густонаселенных стран Западной Европы еще в конце XVIII в., когда в почву вносилась в качестве фосфорного удобрения костная мука. Позднее Либих для облегчения усвоения фосфора растениями, предложил обрабатывать муку серной кислотой. В 1842 г. английскому фермеру Лоуэсу был выдан патент на производство удобрения обработкой фосфоритных желваков серной кислотой, патент на производство суперфосфата. С этого момента фосфорит стал весьма важным полезным ископаемым, и значение фосфоритов росло с каждым годом, параллельно с интенсификацией земледелия.

Примерно к этому же времени относится и первое использование стасфуртских калийных солей в качестве удобрения. Это совершенно изменило всю экономику Стасфуртских соляных копей, которые до этого времени примерно в течение 100 лет разрабатывались только для получения каменной соли.

В 30-х годах стали вносить в почву и азотные удобрения. Кустарная добыча селитры постепенно прекращалась. Все азотные продукты получались главным образом за счет недавно открытых Чилийских месторождений селитры.

Дальнейшее развитие получила промышленность вяжущих материалов. Особенно внимание строителей привлекло изготовление вяжущих на основе мергелей и извести с глиной. В России в 1818—1822 гг. начали приготовлять из мергелей, а позднее из смеси глины и извести гидравлический цемент (впоследствии названный роман-цементом). В 1825 г. была опубликована монография, посвященная методам получения цемента.

Почти одновременно, в 1824 г., в Англии был получен первый патент (заявитель некто Аспидон) на метод получения портландского цемента. По типу английского завода в 1855 г. был построен завод портланд-цемента в Германии, а в 1856 г. такой же завод был сооружен в России (в местности Гродзец). Второй завод в России был построен в 1866 г. В том же году впервые в мире в Одессе при строительстве порта применен цемент с гидравлическими добавками.

В металлургической и керамической промышленности происходила концентрация капитала, расширение некоторых крупных, хорошо оборудованных предприятий и поглощение ими более мелких. Это вело к резкой перестройке всей сырьевой базы нерудной промышленности. Особенно резко этот процесс сказывался на странах экономически наиболее слабых, в частности России, где предприятия часто отказывались от продолжения разработки отечественных месторождений вспомогательного сырья и часто переходили на его импорт из экономически более сильных стран.

К первой половине XIX в. относится открытие графита в Сибири. Первая находка графита в районе Батогольского гольца в Саянах сделана безвестными бурятами-охотниками, которые передали в 1838 г. образцы графита тункинскому приставу С. И. Черепанову, который вскоре продал это месторождение купцу Алиберу. Разведка и эксплуатация месторождения начались в 1847 г., а в 1854 г. был открыт самый крупный шток графита «Алиберовский». Этот графит экспортировался Алибером в Нюрнберг на карандашную фабрику Фабера, но уже в 1859 г. добыча графита здесь была прекращена и практически не возобновлялась до Великой Октябрьской революции.

Второе «открытие» графита было сделано в 1859 г. поисковой партией красноярского купца Сидорова, которой туруханский казак Н. А. Кандин указал на несколько графитовых точек по реке Енисею и его притокам. Добычные работы были поставлены широко, с большой рекламой. Графит экспортировался в Англию и Германию. Но и это предприятие коммерческого успеха не имело.

Продолжавшееся украшение европейских столиц и мода на драгоценный камень создали большие требования на этот вид полезного ископаемого.

Алмазные месторождения были открыты в Австралии в 1851 г. В Северной Бразилии и Южном Уругвае в 1827 г. были открыты крупные месторождения аметистов, которые скоро стали одним из излюбленнейших камней во многих странах Европы.

Особенно велики были открытия драгоценного камня в России в первой половине XIX в. В 1830 г. смолокур М. Кожевников в вывернутом пне нашел кристаллы изумруда, чем положил начало добычи этого изумительного по красоте камня на Среднем Урале. В середине 30-х годов был открыт лабрадорит Волыни.

К первой половине XIX в. относится резкое увеличение добычи многих цветных камней, в первую очередь больших масс малахита на Меднорудянском и Гумашевском рудниках; одна из этих глыб достигала 250 *т*.

Огромные результаты дали экспедиции в Сибирь Г. Пермикина, который был послан для поиска цветного камня. В районе Байкала им было добыто большое количество (несколько десятков тонн) лазурита, а по р. Онот обнаружена россыпь крупных валунов нефрита. Многие из них были им вывезены в Петербург и использованы для поделок. При строительстве Нового Эрмитажа были использованы крупные глыбы серого гранита, добытого близ Сердоболя.

Продолжалась добыча огромных количеств камня в каменоломнях Выборга. Главная масса тесанных камней шла на строительство набережных Невы. В этих же каменоломнях начата добыча крупных блоков для колонн Исаакиевского собора и произведена выемка грандиозного монумента для Александровской колонны, установленной на Дворцовой площади.

Началось изучение свойств драгоценных камней, строительных материалов и других нерудных ископаемых. Состояние промышленности неметаллов в эти годы охарактеризовано в монографии В. Севергина (1821 г.), содержащей обзор технологии «минерального царства» и вышедшей в середине рассматриваемого периода. Следует отметить, что эта замечательная монография намного опередила свой век—за рубежами России в те годы ничего подобного не было.

Использование неметаллов и, самое главное, проведенное в эти годы изучение ресурсов разных стран—зачатки топографической минералогии — составили надежный фундамент дальнейшего развития неметаллической промышленности.

* * *

Итак, основой геологических знаний первой половины XIX в. были утверждение представлений о Земле на основе гипотезы Канта — Лапласа, гипотеза флюидизма, появление палеонтологического метода, ведущее значение стратиграфии и геотектоники, а также борьба и сложное сплетение различных течений. Победа в этой борьбе более прогрессивных взглядов — гипотезы вулканизма, гипотезы униформизма и развитие актуалистического метода — была вполне закономерна. Действительно, гипотеза вулканизма, основанная на ведущем для того времени представлении об общем строении Земли, более научно, чем гипотеза нептунизма, объясняла различные гео-

логические процессы. Гипотеза униформизма имела в своей основе идею о длительной истории и постепенном развитии Земли, и это обусловило ее утверждение в науке. Основным для геологических исследований был и является в настоящее время актуалистический метод, обоснование которого в первой половине XIX в. открыло широкие горизонты для развития геологии.

Вместе с тем, как было сказано выше, в каждой даже односторонней теоретической концепции имелось рациональное зерно, которое было использовано наукой. В учении нептунистов таким рациональным зерном были правильные представления о последовательности отложения слоев, об образовании осадочных пород как морских осадков. Все это дало основу для развития стратиграфии. В учении катастрофистов важными были новые данные о тектоническом несогласии, давшие материал для развития геотектоники, представления о разделении геологических формаций и о смене фауны, определившие развитие палеонтологического метода.

Характерные черты развития геологии первой половины XIX в. в большей или меньшей степени получили отражение в развитии отдельных ее отраслей: стратиграфии, геотектоники, научного исследования вулканов, петрографии, минералогии, кристаллографии, учения о рудных месторождениях, знаний о нерудных полезных ископаемых.

Б. ДАЛЬНЕЙШАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГЕОЛОГИИ. НАЧАЛО ПРИМЕНЕНИЯ ТОЧНЫХ МЕТОДОВ В ГЕОЛОГИИ (ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XIX В.)

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НОВЫХ ОТРАСЛЕЙ ГЕОЛОГИИ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Во второй половине XIX в. господствующей космогонической гипотезой продолжала оставаться гипотеза Канта — Лапласа с вытекавшими отсюда представлениями об общем строении Земли. Однако на развитие геологии влияли также и другие причины — бурное развитие производительных сил, многочисленные открытия в разных областях естествознания и в первую очередь появление труда Ч. Дарвина «Происхождение видов» в 1859 г., открытие Д. И. Менделеевым периодического закона химических элементов в 1869 г., достижения физики, особенно оптики. Эти причины определили направленность и характер развития геологии во второй половине XIX в., которую можно выделить как подпериод, когда развитие геологии имело некоторые характерные специфические черты.

Резкий скачок в развитии промышленности в середине XIX в., промышленная революция и утверждение капиталистической формы производства в ряде стран, новые формы общественных отношений — все эти факторы были тесно взаимосвязаны с развитием науки и техники. Значительно увеличилась потребность в железных рудах, а также в рудах хрома, молибдена, вольфрама и других в связи с открытием бессемеровского и мартеновского способа производства стали и ростом металлургической промышленности. Строительство железных дорог потребовало увеличения добычи угля. Внедрение в технику двигателей внутреннего сгорания и развитие химической промышленности значительно повысили спрос на нефть. Все более необходимыми становились для промышленности руды цветных металлов, а также нерудные полезные ископаемые, строительные материалы. Все это опреде-

ляло развитие учения о полезных ископаемых, региональной геологии и геокартирования.

Возросшая потребность в минеральном сырье и большие работы, проделанные как по поискам и разведке, так и в области теоретических представлений об образовании руд, сделали учение о рудных месторождениях одной из важнейших отраслей геологической науки для второй половины XIX в.

На развитие геологии оказывали также влияние открытия в смежных областях науки. Успехи в области оптики и техники приборостроения позволили применить в геологии поляризационный микроскоп. Изучение микроскопического строения минералов и горных пород произвело настоящую революцию в этой области знания, так как позволило по-новому подойти к вопросам структуры горных пород, их генезиса, классификации и т. п. С этими вопросами были связаны проблемы состояния недр Земли и их состава, механизма образования интрузий, в некоторой степени проблема горообразования, генезиса рудных месторождений и т. п. Таким образом, петрография во второй половине XIX в. не только оформилась как самостоятельная отрасль, но и стала краеугольным камнем геологической науки. Следовательно, в рассматриваемый период ведущими в геологии были учение о рудных месторождениях и петрография.

Вместе с тем применение нового метода в изучении горных пород, значительно продвинувшее петрографию, знаменовало собой и зарождение нового направления в геологии — начала применения точных методов, взаимосвязь с развитием точных наук. Такая связь, начало которой было положено в середине XIX в., развивалась и углублялась и в XX в. стала основной характерной чертой в развитии геологии.

Выход в свет труда Ч. Дарвина «Происхождение видов», знаменовавший собой подлинную революцию в биологии, способствовал утверждению эволюционной теории в геологии.

Ч. Дарвин, увлеченный идеями Ч. Лайеля, обогатил геологию в 1842 г. теорией образования коралловых рифов, классической работой о геологической роли дождевых червей и т. п. Его теория естественного отбора была навеяна, по признанию самого Дарвина, идеями Ч. Лайеля и Т. Мальтуса. Но Дарвин, по существу, с самого начала не униформист, а эволюционист.

Последователем Дарвина в области палеонтологии был выдающийся русский ученый В. О. Ковалевский. Он показал, что развитие видов и изменение внешних форм позвоночных животных связаны с изменениями внешней среды и условий их существования. Это направление—изучение связи между организмами и окружающей средой—было развито А. П. Карпинским и бельгийским палеонтологом Л. Долло. Учение о фациях, начало которого было заложено еще до выхода труда Дарвина швейцарским ученым А. Грессли в 1838—1841 гг., развивал в конце XIX в. немецкий геолог И. Вальтер. Развитием эволюционного направления в геологии может служить также предложенный А. П. Карпинским метод изучения геологических изменений при помощи палеогеографических карт, примененный и при исследовании Русской платформы. В области химии открытие Д. И. Менделеевым периодического закона химических элементов определило новые представления о химизме горных пород, химическом составе минералов, и в дальнейшем — развитие геохимии.

Совокупность всех изложенных выше причин определила наиболее характерную черту развития геологической науки для второй половины XIX в.— дифференциацию ее на различные отрасли.

В XIX в. хорошо было известно, что горные породы слагаются минералами, имеющими различную структуру и разный химический состав; оса-

дочные горные породы образуют слои различного геологического возраста — по их последовательности можно восстановить геологическую историю данного участка земной коры; слои осадочных пород нередко бывают смяты в складки и прорваны интрузиями; дислоцированные, складчатые участки чередуются с областями спокойного залегания слоев; на различной глубине от поверхности имеются подземные воды; сложные глубинные процессы вызывают извержения вулканов и землетрясения.

Даже этот приблизительный, далеко не полный перечень показывает, насколько разнообразен был круг вопросов, изучаемых геологией. Углубленное изучение каждого из этих вопросов послужило основой для развития отраслей геологической науки. В области минералогии — старейшей ветви геологии — была разработана химическая классификация минеральных видов, открыто явление изоморфизма, изучены свойства кристаллов. Микроскопический метод, открывший широкие возможности для развития петрографии, оказал также влияние и на успехи учения о рудных месторождениях. В этой области были разработаны гидротермальная и латерально-секреционная теория происхождения рудных жил. Изучение слоев осадочных пород привело к окончательному оформлению стратиграфии как науки, для развития которой оказалось необходимым установление единой стратиграфической шкалы всего мира. Детальное изучение строения горных систем привело к установлению в геотектонике новой, контракционной гипотезы и к возникновению учения о геосинклиналях, получившего развитие несколько позднее. Изучение геологической истории различных областей способствовало развитию палеогеографии, основы которой были заложены еще в начале XIX в.

Все более подробное изучение отдельных вопросов привело и к возникновению на рубеже XIX и XX вв. ряда новых отраслей геологической науки: изучение химизма горных пород и минералов —к возникновению геохимии, исследование осадочных пород — к развитию литологии, изучение подземных вод оформилось в самостоятельную науку — гидрогеологию, исследование землетрясений и условий прохождения сейсмических волн сквозь толщу Земли — привело к развитию сейсмологии — пограничной науки между геофизикой и геологией.

Детализация и дифференциация геологической науки приводила к тому, что отдельные ее отрасли развивались нередко в недостаточной связи между собой. Однако такое временное расхождение геологических наук в процессе накопления знаний об отдельных свойствах и элементах земной коры было необходимой исторической закономерностью.

Вместе с тем в рассматриваемый период намечается и необходимость связи геологов между собой для разрешения вопросов, общих для всей поверхности Земли — а именно: составления геологических карт и выработки единой номенклатуры, установления стратиграфической шкалы и параллелизации одновозрастных слоев и т. п. Взаимное общение геологов осуществлялось Международным геологическим конгрессом, первая сессия которого собралась в Париже в 1878 г. Эта связь являлась вместе с тем организационным выражением процесса интеграции геологических наук — тенденции, лишь слабо намечавшейся во второй половине XIX в. и все усиливавшейся в последующем периоде.

В период 30—90-х годов XIX в. фронт стратиграфических исследований непрерывно расширяется, охватывая все большее число стран. При этом, однако, стратиграфия остается все же преимущественно европейской, даже центральноевропейской областью исследования. Вне Европы лишь в некоторых странах (США, Индия и др.) отдельные интервалы разреза (кембрий, девон, пермь, триас) были охвачены достаточно детальным стратиграфическим изучением.

Стратиграфическими исследованиями также были затронуты более древние, труднее поддающиеся стратиграфическому расчленению интервалы разреза. Но они почти не распространялись на древнейшие, докембрийские, образования, охватывая лишь тот, палеонтологически охарактеризованный интервал стратиграфического разреза, который получил впоследствии название фанерозоя. Из отложений фанерозоя, в свою очередь, слабо изученными в стратиграфическом отношении оставались наиболее молодые, четвертичные, отложения, резкий перелом в изучении которых наступил лишь с начала XX в.

Ведущая роль в стратиграфических исследованиях принадлежала ученым, начало активной научной деятельности которых относится к 30—40-м годам прошлого века. К ним относились Седжвик и Р. И. Мурчисон — исследователи британского нижнего и среднего палеозоя, И. Барранд — знаменитый исследователь среднечешского палеозоя и другие зарубежные геологи.

Из числа русских исследователей следует отметить Г. П. Гельмерсена, А. Д. Озерского, Э. И. Эйхвальда, П. М. Языкова.

Исследователями «ведущего» поколения в период 30—60-х годов прошлого века был разработан основной каркас схемы стратиграфической классификации фанерозойских отложений Центральной Европы. В последующие десятилетия XIX в. геологами следующего поколения эта основная принципиальная схема уточнилась, детализировалась, облекалась в стандартную международную форму и распространялась постепенно все дальше за пределы области ее первоначального установления.

Ряд прогрессивных геологов (Оппель, Неймайр, Карпинский, Никитин, Павлов, Андрусов и др.) по методу и общему направлению своих стратиграфических исследований, принадлежал уже к следующему периоду развития стратиграфии. Но в основном представители поколения, о котором идет речь, следовали еще старым традициям, установившимся в период работ предыдущих исследователей.

Расширение и углубление фронта стратиграфических исследований привело к появлению все большего количества стратиграфических схем более или менее узкого регионального значения и, как следствие — ко все возрастающей необходимости сопоставления последних и к разработке таким путем более общей межрегиональной системы стратиграфической классификации. Именно эта задача и составила на данном этапе основное звено в развитии стратиграфических представлений, которое привело в период первых (I—VIII, 1878—1900 гг.) сессий Международного геологического конгресса к созданию международной хроностратиграфической шкалы. Поскольку же стратиграфические исследования до конца XIX в. все еще развивались в основном на территории стран Центральной Европы, эта шкала оказалась фактически западноевропейской межрегиональной шкалой.

Основное ядро международной шкалы (пермь, триас, юра, мел) составила схема Д'Омалиуса д'Аллуа (D'Omalius d'Halloy, 1831). В части допермских

(допенеенских, по Д'Омалиусу д'Аллуа) отложений схема Д'Омалиуса д'Аллуа была дополнена в основном региональной британской схемой Седжвика — Мурчисона: кембрий, силур (нижний и верхний), девон (древний красный песчаник), карбон (горный известняк, жерновой песчаник, угленосная толща). В последней своей части схема была дополнена и несколько изменена фактическим материалом по некоторым другим европейским разрезам. Основную роль среди последних сыграли: разрез среднечешского нижнего палеозоя (И. Барранд); разрез палеозоя Рейнско-Арденнского массива, который явился исходным для расчленения девонской системы (А. Дюмон, Ж. Госселе) и двучленного деления каменноугольной системы (А. Дюмон); разрезы верхнего палеозоя Центральной России, Западного Урала и Приуралья, положенные в основу современного принятого в СССР трехчленного деления карбона (Мурчисон, Мёллер, Никитин) и послуживших также базой дальнейшего изучения и современного расчленения пермской (пенеенской) системы (Мурчисон, Карпинский, Штукенберг).

В своей мезозойской части схема Д' Омалиуса д'Аллуа вошла в международную шкалу без каких-либо существенных изменений. Конгрессом было лишь принято объединение лейаса и «юры» в одну — юрскую систему (по схеме Гумбольдта и других авторов) с трехчленным (по Буху и Оппелю) разделением последней и, одновременно, двучленное (по схеме Конибира и Филлипса) деление меловой системы.

В основу международной схемы расчленения «надмеловых» отложений была положена комбинированная (по разрезам различных районов) схема Деге — Лайеля, по которой данные отложения разделялись (Lyell, 1883) на эоцен, миоцен, древний плиоцен, новый плиоцен (позже — плейстоцен) и, наконец, современные отложения (впоследствии голоцен, по Жерве). Нижняя часть миоцена схемы Лайеля (Lyell, 1852) была выделена в 1854 г. Г. Е. Бейрихом в самостоятельный отдел — олигоцен. Аналогичным образом, в 1874 г. палеоботаник Ф. Шимпер предложил выделить в самостоятельный отдел палеоцен — нижнюю часть эоцена схемы Лайеля. Наконец, новый плиоцен (плейстоцен) и современные отложения схемы Лайеля (дилювий и аллювий Бекленда, Конибира и Филлипса и других предыдущих авторов) во второй половине XIX в. многие европейские (преимущественно французские) геологи стали объединять в одну — четвертичную систему, и эта схема классификации и была зафиксирована в международной шкале.

В общей принципиальной форме проблема создания единообразной международной стратиграфической системы классификации была выдвинута впервые в 1873—1874 гг. швейцарским геологом Реневье (Renevier, 1873—1874), которым был разработан детальный вариант подобной шкалы, явившийся исходным для последующей работы в этом направлении Международного геологического конгресса. В 1893 г. несколько отличный вариант международной шкалы был предложен французскими геологами Мюнье-Шалма и А. Лаппараном (Munien-Chalmas, Lapparent, 1894). Одновременно на шестой сессии Международного геологического конгресса в 1894 г. в Цюрихе Реневье (Renevier, 1897) представил новый, несколько измененный вариант своей шкалы.

Разработка обобщающей межрегиональной системы стратиграфической классификации была, в свою очередь, связана с широким внедрением в практику стратиграфических исследований палеонтологического метода стратиграфической параллелизации слоев, который с начала 30-х годов стал действенным и в дальнейшем все более мощным орудием стратиграфического исследования. Широкое использование палеонтологического метода, равно как и продолжавшаяся систематизация лежащих в его основе палеонтолого-

стратиграфических данных, представляло в связи с этим характерную особенность рассматриваемого периода развития стратиграфии. Однако палеонтологический метод применялся преимущественно еще в своей первоначальной, достаточно упрощенной форме. Широкое распространение получил в это время собственно лишь один вариант палеонтологического метода — формально-статистический (процентный), начало использованию которого было положено французским палеонтологом Деге и английским геологом Лайелем, применившими его для сопоставления и расчленения третичных отложений Западной Европы.

Среди этих отложений Деге (Deshayes, 1831) выделил три комплекса слоев; содержащих соответственно 3, 19 и 52% видов моллюсков, аналогичных ныне живущим формам, отвечающих, по его представлению, трем последовательным «зоологическим эпохам» жизни Земли. Лайель (Lyell, 1833), опираясь на данные и метод Деге, к этим трем эпохам добавил еще одну, четвертую, наиболее молодую (с 95% современных видов), назвав их соответственно эоценом, миоценом, древним плиоценом и новым плиоценом.

Первоначально этим методом учитывали, как мы видим, процент ныне живущих видов в составе фаун различных новейших («третичных») слоев и определяли, тем самым, относительную древность последних. Впоследствии тем же методом стали определять степень сходства (или различия) любых ископаемых фаун (или флор) и, соответственно, степень стратиграфической близости заключающих данные фауны (или флоры) слоев. В этой общей, универсальной форме процентный метод получил весьма широкое распространение. Весьма разносторонне и последовательно он применялся, в частности, Баррандом для расчленения и сопоставления отложений среднечешского палеозоя.

Но еще более широко палеонтологический метод использовался в форме общего, чисто качественного сопоставления палеонтолого-стратиграфических данных. При подобном сопоставлении степень сходства и соответственно близость по геологическому возрасту сравниваемых ассоциаций ископаемых оценивалась вне зависимости от каких-либо определенных, объективных критериев и, вследствие этого, всегда более или менее субъективно. Естественно, такое использование палеонтологического метода обеспечивало, в общем случае, лишь небольшую точность стратиграфических сопоставлений.

Хотя уже Оппелем (Oppel, 1856—1858) на примере юрских отложений Центральной Европы был разработан зональный метод стратиграфической параллелизации слоев и почти одновременно в 1859 г. в «Происхождении видов» Дарвина как под зональный метод Оппеля, так и под палеонтологический метод вообще была подведена твердая генетическая эволюционная основа, ни метод Оппеля, ни эволюционные представления в целом не получили еще в стратиграфических построениях XIX в. достаточно широкого применения. В стратиграфии влияние эволюционных идей сказалось в это время главным образом на развитии зонального метода; однако область использования данного метода оставалась еще весьма узкой. В целом рассматриваемый период по характеру использования палеонтологического метода, являлся еще периодом дозональным.

Практически зональный метод применялся лишь при изучении отложений (юрские, триасовые, меловые), основы общей стратиграфической классификации которых были заложены Д'Омалиусом д'Аллуа на предыдущем этапе развития стратиграфии. Поэтому зональный метод и связанные с ним эволюционные представления могли способствовать лишь дальнейшей ее детализации и уточнению схемы классификации данных отложений. На те же

отложения — палеозойские и кайнозойские, общая стратиграфическая классификация которых активно разрабатывалась именно в рассматриваемый период, применение зонального метода почти не распространилось.

Широкое использование палеонтологического метода привело к тому, что значение палеонтолого-стратиграфических данных вышло далеко за рамки только лишь метода исследования. Помимо представлений об общегеологическом значении тех или других «зоологических эпох», этому способствовали также ограниченный еще (в основном центральноевропейский) круг стратиграфических данных и незначительная точность стратиграфических сопоставлений.

Геологическое развитие области палеозоид Центральной Европы, несмотря на ряд специфических особенностей, присущих развитию отдельных ее участков — каледонид, герцинид, различных зон герцинид и т. п., обнаруживает все же и многие общие для данного региона черты, проявляющиеся как в палеонтологических, так и в собственно геологических признаках отложений. Благодаря этому отложения, близкие по времени образования, оказывались нередко сходными и по общему геологическому характеру — литологическому составу, тектонической структуре, трансгрессивному залеганию и т. п. Данная региональная закономерность, при ее достаточно широкой экстраполяции, наводила, естественно, на мысль о существовании в истории Земли определенных геологических эпох, однозначно проявляющихся на всей ее поверхности.

Развитию подобных представлений способствовала также незначительная еще точность стратиграфических сопоставлений. Достаточно общий и субъективный характер использования палеонтологических данных допускал обычно довольно свободную интерпретацию схем соотношений сопоставляемых разрезов, что позволяло стратиграфически совмещать установленные в этих разрезах естественные геологические («физические») рубежи — перерывы, несогласия и т. п. Тем самым создавалось впечатление, что отложения со сходными комплексами ископаемых повсеместно ограничены четкими естественными геологическими рубежами.

Совокупность отмеченных выше данных приводила к представлению, что всеобщие «зоологические эпохи» являются одновременно и всеобщими геологическими эпохами и что, следовательно, путем установления первых из них может быть осуществлено разделение осадочных образований на общие для всей Земли естественные стратиграфические комплексы слоев. В этом представлении находили свое подтверждение (и, очевидно, отражение) катастрофистские идеи Кювье о периодически совершавшихся всеобщих универсальных переворотах, приводивших каждый раз к полному обновлению органического мира Земли.

Первоначально представления о всеобщем, универсальном характере (зоологическом, фитологическом, геологическом) стратиграфических подразделений относились лишь к таким наиболее крупным из них, как группы — палеозойская, мезозойская, кайнозойская, выделенные Филлипсом в 1841 г., и системы. Но вскоре аналогичные представления стали распространяться и на более дробные стратиграфические единицы. Весьма существенную роль при этом сыграли палеонтолого-стратиграфические исследования одного из виднейших последователей Кювье — Д'Орбиньи. В разрезе земной коры Д'Орбиньи (D'Orbigny, 1849—1852) выделил 28 «этажей», каждый из которых отвечал, по его представлению, самостоятельному периоду осадконакопления и воспроизведения органического мира Земли, отделенному от смежных периодов эпохами всеобщих геологических переворотов.

Стремление к установлению всеобщей естественной системы стратиграфических подразделений руководствовалась и значительная часть участников первых (I—VIII) сессий Между-

народного геологического конгресса, занимавшихся разработкой международной хроностратиграфической шкалы. Приверженцы подобных взглядов рассматривали международную шкалу как отражение всеобщих естественных этапов развития Земли и при установлении границ и объемов подразделений этой шкалы, старались привести их в соответствие с известными им региональными историко-геологическими данными.

На фоне стремления к обобщению палеонтологическим методом регионально-стратиграфических схем классификаций проблема разработки самих этих схем явно оттеснилась в рассматриваемый период на задний план, не привлекая к себе принципиального интереса большинства исследователей. В той их части, которая не определялась палеонтологическими данными, регионально-стратиграфические схемы оставались обычно на уровне элементарных литостратиграфических построений.

Тем не менее для развития регионально-стратиграфических исследований рассматриваемый период был все же далеко не бесплодным. На его протяжении, частично уже в самом начале, определился ряд важных для региональной стратиграфии общих теоретических и методических предпосылок. В этой связи прежде всего необходимо отметить развитое и обоснованное А. Грессли (Gressly, 1938) и К. Прево (Prevost, 1837—1839) представление о фациях и фациальной изменчивости (рис. 7) и сформулированное несколько позже Головкинским (1869) и Иностранцевым (1872) представление о закономерной связи фациальной изменчивости с колебательными движениями земной коры.

Несколько позже к аналогичному представлению пришел бельгийский геолог Рюто, претворивший его в стройную концепцию осадочных циклов, которая рассматривалась им как возможная основа регионально-стратиграфического расчленения осадочных образований (Rutot, 1883).

В развитие собственно регионально-стратиграфических представлений значительный вклад был внесен бельгийским геологом Дюмоном. В его работах мы встречаемся с наиболее фундаментальной и последовательной для того времени попыткой построения стратиграфической классификации всей серии осадочных образований значительного региона (территории Бельгии и смежных районов сопредельных стран) на основе общих историко-геологических критериев: анализа тектонических движений и их влияния на общий ход и характер осадконакопления. Многие из выделенных Дюмоном позразделений вошли впоследствии в международную хроностратиграфическую шкалу. Идеи Дюмона (Dumont, 1847, 1857) получили развитие во взглядах ряда других бельгийских геологов, в частности в концепции осадочных циклов Рюто.

Однако принцип и метод стратиграфической классификации Дюмона не нашел широкого признания ни у его современников, ни у геологов следующего поколения. Причина этого лежала в том, что палеонтологические данные играли в схеме Дюмона второстепенную роль. Это затрудняло сопоставление выделявшихся в ней подразделений с отложениями других стран и препятствовало признанию за ними более широкого, межрегионального значения.

Именно эта р е г и о н а л ь н а я о г р а н и ч е н н о с т ь схемы Дюмона и вызывала отрицательное к ней отношение со стороны тех исследователей рассматриваемого периода, которые стремились к установлению на основе палеонтологических данных всеобщей естественной системы стратиграфических подразделений.

Исследования Дюмона дали начало самостоятельному — р е г и о н а л ь н о м у направлению стратиграфического исследования с задачами, не связанными непосредственно с проблемой общей универсальной шкалы. Последнюю представители данного направления стали понимать уже не как

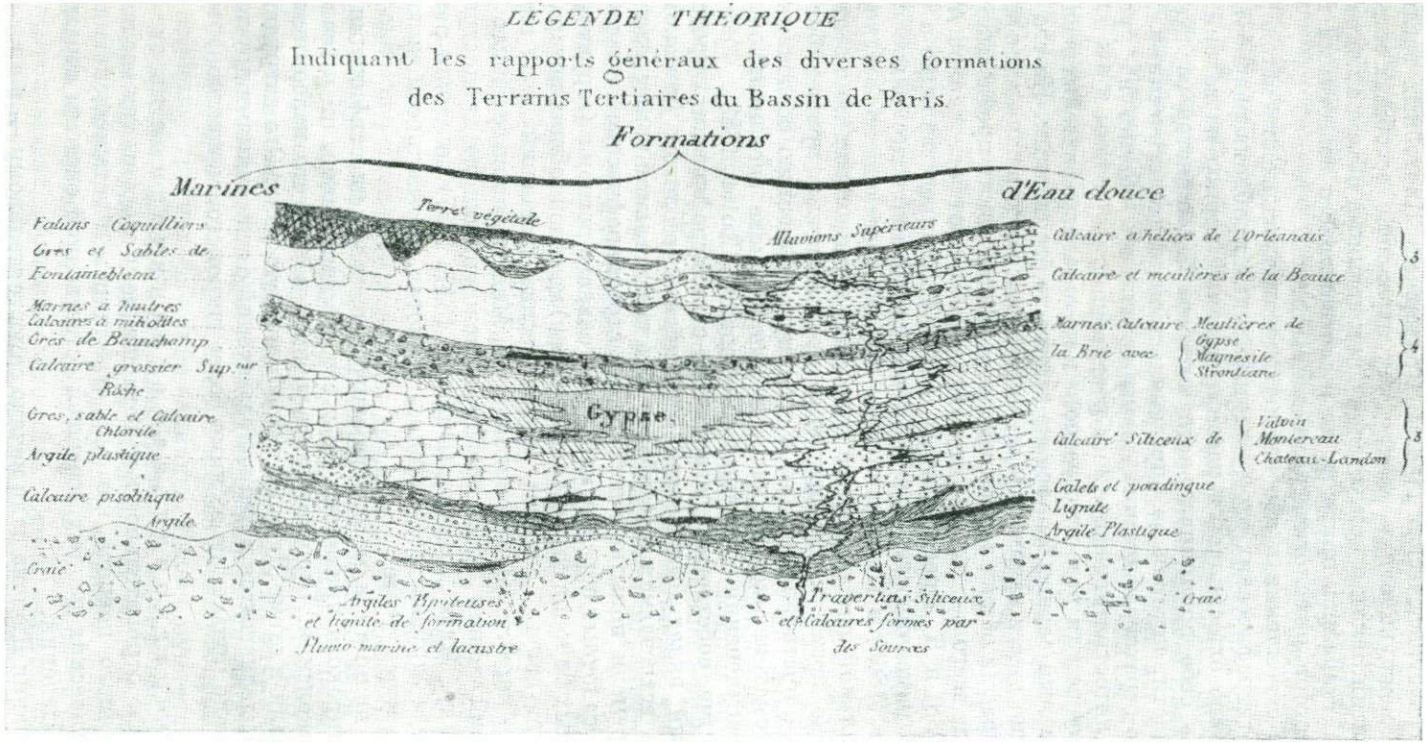


Рис. 7. Теоретическая легенда, показывающая общие взаимоотношения различных формаций (фаций) третичных отложений Парижского бассейна

всемирную естественную систему, а лишь как условную шкалу геологического времени, как «геологический хронограф», по выражению автора первого варианта международной шкалы, швейцарского геолога Реневье.

Эти две альтернативные точки зрения на сущность международной стратиграфической шкалы столкнулись при обсуждении вопросов, связанных с данной шкалой, на первых сессиях международного геологического конгресса (I—VIII, 1878—1900 гг.). Четкой формулировки данная альтернатива на сессиях конгресса, однако, не получила, и ни к какому определенному решению по данному вопросу конгресс не пришел.

Приняв в общей форме схему международной стратиграфической шкалы, конгресс оставил открытым большинство вопросов, связанных с определением объема и границ ее подразделений. Успешному решению этих вопросов мешало стремление многих участников первых сессий конгресса приспособить международную шкалу к требованиям их отечественной региональной геологии. Это стремление указывало, по мнению одного из участников данных сессий конгресса — С. Н. Никитина, что даже у передовых геологов того времени «глубоко укоренились... старые традиции видеть в наших системах воплощение определенного плана творения и стремление создать несуществующую в природе естественную периодичность и группировку» (Никитин, 1888, стр. 127—128).

ГЕОТЕКТОНИКА

Геологические исследования к середине XIX в. показали, что во многих случаях строение горных систем не подчиняется схеме, нарисованной гипотезой поднятия, согласно которой в центре каждой дислоцированной области должен находиться массив изверженных пород, более молодых, чем приподнятые им слои осадочных пород, а сама такая область должна иметь округлые очертания, имитирующие строение вулкана. Оказалось, что в горных системах имеются параллельные складчатые пояса, протягивающиеся иногда на большие расстояния. Происхождение подобных структур казалось невозможным объяснить действием вертикальных сил, но оно как будто легко объяснялось действием горизонтальных сил, возникающих при сжатии Земли. Так возникла новая геотектоническая [1] гипотеза— гипотеза контракции.

Контракционная гипотеза, так же как и предшествующая ей, опиралась на общие для XIX в. представления о происхождении и строении Земли. Идее горизонтального сжатия вполне соответствовали представления о тонкой земной коре, появившейся при охлаждении на поверхности расплавленного земного шара. Кора охлаждалась до тех пор, пока температура ее не оказалась равной температуре внешней среды. После этого равномерное сжатие коры прекратилось, но внутреннее ядро продолжало сжиматься. Опускаясь вслед за сокращающимся ядром, кора коробилась, и на поверхности Земли образовывались складки — складчатые горные системы.

Таковы основные положения гипотезы контракции.

Основоположником контракционной гипотезы принято считать французского геолога, члена Парижской академии наук Л. Эли де Бомона. В начале своей деятельности он находился под влиянием Л. Буха, и его идеи являлись развитием гипотезы поднятия, хотя имели по существу другую основу.

По представлениям Эли де Бомона, земная кора сжималась вследствие сокращения ядра, но горы на ее поверхности образовались в результате поднятия и выжимания вверх расплавленных масс. Таким образом, идея боко-

[1] Следует отметить, что термин «геотектоника» был предложен в 1860 г. К. Ф. Науманом.

вого давления при сжатии сочеталась у Эли де Бомона с представлением о действии вертикальных сил, направленных снизу вверх.

Следует напомнить, что в период написания первых работ Эли де Бомона (1829—1850 гг.) шла напряженная борьба между эволюционной теорией и теорией катастроф. Эли де Бомон был убежденным катастрофистом. При исследованиях горных систем он открыл тектонические несогласия — непараллельное залегание более молодых слоев на более древних вследствие тектонических деформаций в первый период их образования. Отсюда Эли де Бомон вывел заключение, что каждая горная система формировалась в период между образованием наиболее ~~молодого~~ древнего крутопадающего слоя и отложением залегающего на нем горизонтального слоя. Однако каждой горной системе, по его мнению, соответствовало лишь одно тектоническое несогласие; следовательно, на образование гор отводилось лишь очень небольшое время.

Считая, так же как и его предшественники (Б. Штудер), что параллельные горные хребты на Земле одновозрастны, Эли де Бомон полагал, что образование каждой группы параллельных горных цепей происходило одновременно. Горные системы возникли катастрофическим путем, вследствие резких нарушений, вызванных напряжениями в сокращающейся земной коре (Elie de Beaumont, 1829, 1830). Катастрофистские представления Эли де Бомона совпадали со взглядами Кювье о катастрофах в развитии органического мира; горы казались вещественным доказательством, подтверждавшим многоэтапность развития земной коры.

Идея контракции более ясно была выражена в последующей работе Эли де Бомона — трехтомном труде «Заметки о системах гор», опубликованном в 1852 г. По мнению автора, медленное и постепенное охлаждение Земли вызывает сокращение земной коры. На ее поверхности сначала образуются вздутия, затем вследствие напряжения при сжатии происходят резкие разрывы и образуются складки. Каждый сегмент Земли, смятый в складки, представляет собой горную систему. Таким образом, в этой работе Эли де Бомон придавал большое значение силам сжатия при горообразовании. Но и здесь он не вполне отошел от гипотезы поднятия, считая, что подкоровые массы вследствие бокового давления выдавливаются кверху и прорывают снизу вверх поверхностные слои. Об этом свидетельствуют гранитные вершины гор, массивы изверженных пород по осевой линии горных цепей, с наклонным залеганием приподнятых ими слоев осадочных пород (Elie de Beaumont, 1852).

Несмотря на приверженность Эли де Бомона к устаревшей уже гипотезе поднятия, его собственные исследования по существу опровергали эту гипотезу, так как вертикальные силы оказывались лишь следствием горизонтального сжатия. Эта идея несколько позднее была очень хорошо выражена английским геологом Р. Маллетом, который назвал поднятие гор «вертикальной результирующей двух тангенциальных сил» (Mallet, 1874).

Наряду с предположением о действии направленных вверх радиальных силах при сжатии Земли существовала также точка зрения о большой роли гравитационных сил при том же процессе. Согласно этой точки зрения, которой придерживался ряд геологов при сокращении ядра под корой образуются пустоты. Отдельные участки коры при опускании в эти пустоты оказывают боковое давление на соседние участки, которые сминаются в складки. Это мнение было высказано еще в первой половине XIX в. и развито в дальнейшем, однако нетрудно видеть в идее радиального опускания влияние развитой значительно раньше теории обрушения.

Французский геолог Ж. А. Делюк считал, что участки коры опускаются в громадные подземные пустоты, а следовательно, каждое поднятие является

побочным следствием соседнего опускания. Такого же мнения придерживался его соотечественник К. Прево, считавший, что образование складок и горных *цепей на Земле является результатом* центростремительного опускания земной коры.

Таким образом, представления о боковом сжатии сочетались с воззрениями о действии радиальных сил, причем преимущество все же отдавалось действию сил, направленных вверх, как этого требовала лишь недавно господствовавшая гипотеза поднятия.

Постепенно, однако, влияние контракционной гипотезы все больше ослабевало, и на первый план выступала ее основная идея — действие горизонтальных сил при контракции земной коры.

Большое внимание вопросам горообразования уделялось в рассматриваемую эпоху в Северной Америке, где имеются мощные, значительно протяженные горные системы (Аппалачи, Кордильеры).

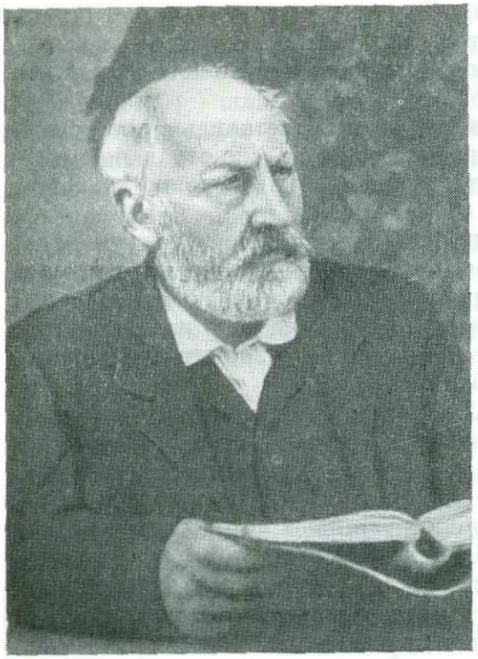
По мнению американского геолога Д. Ле Конта, работы которого относятся к 70-м годам прошлого века, горные цепи — это складки, которые образуются в результате горизонтального давления, обусловленного, в свою очередь, радиальной контракцией Земли. Вследствие той же причины образуются континенты и океаны, а горные цепи возникают по окраинам морей. Ле Конт отрицал предположение Эли де Бомона о том, что параллельные горные цепи должны быть одновозрастны, считая, что они образуются постепенно, одна за другой. В противоположность идеям гипотезы поднятия Ле Конт считал вулканизм вторичным явлением, приуроченным к трещинам в земной коре. Развитие Земли, по Леконту, происходит неравномерно: он различал периоды покоя и периоды сильного горизонтального сжатия и интенсивного горообразования.

Почти одновременно с Ле Контом такие же взгляды на образование гор вследствие уменьшения ядра и контракции земной коры были высказаны и французскими геологами (Эбрей, Манган и др.).

Попытка количественного доказательства сокращения земной коры была предпринята швейцарским геологом А. Геймом (Heim, 1878). Считая, что сокращение земной коры и образование складок должны соответствовать общему сокращению земной окружности и радиуса, Гейм пытался вычислить величину, которую занимала бы область современной горной системы, если бы складки были вновь разглажены до горизонтального состояния. Подобные вычисления были сделаны им для Юры и Альп. Для гор Юры разница между протяженностью поперечных разрезов при современном (складчатом) и прежнем (расправленном и выпрямленном) состоянии оказалась, по Гейму, равной приблизительно 5—5,3 *км*, отношение тех же двух величин составляет $^3/_4$. Первая величина была названа абсолютным, вторая относительным сжатием. Для Альп абсолютное сжатие получилось значительно больше — около 120 *км*. Следовательно, только при образовании альпийских складок окружность Земли сократилась на 120 *км*, или на 0,003%. Для других складчатых гор, находящихся на меридиане Альп, величина сжатия еще больше — почти 0,009% окружности Земли. Соответственно должен был сократиться и радиус Земли — для данного района, по вычислениям Гейма, радиус Земли при распрямлении складок должен бы быть почти на 60 *км* больше современного.

В методике работы Гейма можно заметить начало нового направления — приложения количественного критерия к изучению тектонических явлений, т. е. направления, ставшего наиболее важным в последующем периоде развития геологической науки.

Таким образом, к 70-м годам прошлого века контракционная гипотеза приобрела вполне определенные черты: первенствующее значение придава-



Э. Зюсс

лось горизонтальным силам, образующим складки на поверхности Земли. Однако при равномерном сжатии коры складчатые горные цепи должны были бы образоваться повсеместно, в действительности же этого не наблюдается. Для объяснения этого факта в идею сжатия Земли и сморщивания ее поверхности необходимо было внести некоторые дополнительные условия. Кроме того, к этому времени несколько усложнились и представления о внутреннем строении Земли: идею об однородной огненно-жидкой массе внутри Земли сменили представления о ее вязком состоянии, или вязком подкоровом поясе, являвшемся дальнейшей стадией прежнего огненно-жидкого состояния.

В гипотезу контракции были представлены Э. Зюссом дополнительные условия о неоднородности земной коры и боковом одностороннем давлении; идея о вязком подкоровом поясе способствовала оформлению и разработке теории изостазии.

Небольшая работа Э. Зюсса «Происхождение Альп» была опубликована в 1875 г. Причины и время горообразования рассматривались им на материалах изучения тектоники ряда горных систем Европы — Альп, Юры, Апеннин, Карпат и др. Это изучение привело его к убеждению в асимметричном строении горных цепей, а следовательно, и в одностороннем давлении, образовавшем эти системы. По мнению Зюсса, при охлаждении Земли из первоначально расплавленного состояния на ее поверхности образовались твердые глыбы, располагавшиеся не по известным геометрическим законам. Эти древние глыбы Зюсс назвал архиболами. При дальнейшем охлаждении Земли участки, располагавшиеся между такими глыбами, опускались, и в их пределах вследствие контракции глубинных зон возникали крупные складчатые системы. На направление этих систем оказали влияние контуры твердых глыб, которые в современном виде представляют собой ненарушенные участки земной поверхности. Боковое одностороннее давление этих глыб на прилегающие к ним подвижные зоны вызвало смятие последних, вследствие чего складки горных цепей всегда оказываются опрокинутыми в одном направлении. Если же складки опрокинуты в обе стороны, как, например, в Восточных Альпах, то это, по мнению Зюсса,— результат сочленения различных горных цепей.

Идеи Зюсса о неоднородности земной коры и неравномерности сжатия поверхности Земли легли в основу его последующих трудов, особенно капитального труда «Лик Земли» (Suess, 1883—1909). В этом трехтомном труде с исключительной тщательностью собран и проанализирован весь накопленный к концу XIX в. фактический материал о геологическом строении различных участков земной коры, почти на всей площади континентов. При составлении этого труда Зюсс использовал как опубликованные, так и неопубликованные материалы, которые присылали ему ученые разных стран, в том числе

и русские. А. П. Карпинский прислал ему статью—И. Д. Черского «К геологии внутренней Азии», в которой русский автор доказывал, что к массиву древних кристаллических пород Забайкалья причленялись, последовательно наращивая его, складки более молодых отложений. Это вполне гармонировало со взглядами Э. Зюсса, и он назвал статью Черского изумительной, далеко опережающей свое время.

Труд Э. Зюсса представляет собой большую научную ценность прежде всего как обобщение колоссального геологического материала. Вместе с тем этот материал, проанализированный в глобальном масштабе, под определенным углом зрения, был использован автором для доказательства и развития гипотезы контракции и предположения о неоднородности земной коры. Зюсс еще раз подчеркнул, что напряжения, возникающие в результате сокращения объема нашей планеты, разлагаются на тангенциальные и радиальные. На основании этого Зюссом (Suess, 1885, стр. 148) были высказаны весьма важные мысли о двух видах движения земной коры — горизонтальных (т. е. складкообразовательных) и вертикальных (т. е. колебательных).

Усложнившиеся взгляды на внутреннее строение Земли, при допущении возможности существования твердого ядра и промежуточной вязкой зоны между корой и ядром, оказали влияние на дальнейшую разработку представлений о процессах горообразования. По мнению А. Лазо, температура плавления вещества подобной зоны вследствие давления вышележащих пород должна быть выше, чем при нормальных условиях. Поэтому, когда давление уменьшается, происходит расплавление вещества. Такой процесс наблюдается при горообразовании. В результате сокращения земной коры и горизонтального сжатия образуются складки и разрывы. По образовавшимся трещинам расплавленная масса устремляется вверх. Таким образом, процесс горообразования сопровождается внедрением интрузий и образованием изверженных горных пород (Lasaulx, 1882).

На подобных же представлениях об общем строении Земли были основаны и взгляды русского геолога И. В. Мушкетова (1891) — убежденного контракциониста — о причинах горообразования. В вопросах происхождения Земли И. В. Мушкетов также исходил из гипотезы Канта — Лапласа — по его мнению, Земля проходила стадию газообразного, затем расплавленного сфероида, на поверхности которого вследствие охлаждения образовалась твердая кора. В центре сосредоточиваются тяжелые минералы с высоким удельным весом, кора же нарастает снизу за счет легких тугоплавких силикатов. Под корой располагается промежуточный пояс, состав которого приближается к оливину. Вследствие охлаждения, а также излияния на поверхность вулканических масс происходило сокращение внутренней массы Земли и стяжение земной коры. Это явилось главной причиной дислокаций и складкообразования.

Большой фактический материал, собранный И. В. Мушкетовым при его исследовании в горах Средней Азии, а также литературные данные о строении Альп, Балкан, Апеннин и других районов позволил ему особенно резко подчеркнуть более правильные, по его мнению, положения гипотезы контракции по сравнению с гипотезой поднятия. Выходы вулканических (интрузивных) пород, как оказалось, не всегда совпадают с гребнем, т. е. с центральной частью горных кряжей, но часто наблюдаются на их склонах. Это свидетельствует о пассивной роли вулканических пород в возникновении горных цепей, которые образовались не путем поднятия, а бокового давления. Наблюдениями И. В. Мушкетова было также развенчано предположение А. Гумбольдта, основанное на гипотезе поднятия, о существовании в Тянь-Шане осевого вулканического поднятия — хребта Болор. На самом деле,



И. В. Мушкетов

такой хребет вообще не существует, нет в Тянь-Шане и молодых вулканов.

Утверждение в науке контракционной гипотезы способствовало изменению представлений о причинах землетрясений и направлений их исследований. Было установлено, что сейсмические и вулканические явления далеко не всегда связаны между собой и часто землетрясения случаются именно там, где вулканы отсутствуют. Однако укоренившиеся в науке представления о связи сейсмичности и вулканизма не сразу были отвергнуты и удерживались наряду с новыми представлениями о связи их с тектоникой. Большое влияние на исследования землетрясений оказала работа Г. В. Абиха, в течение многих лет работавшего на Кавказе. Здесь Абих выделил четыре ясно выраженных направления горных цепей, из которых главным он считал широтное, так как в этом направлении протягивается пояс потухших и действующих вулканов. Этот пояс периодически сотрясается страшными землетрясениями. Абих считал необходимым тщательное изучение землетрясений в связи с геологическим строением горных систем. Представления Абиха о приуроченности землетрясений к определенным направлениям горных цепей, т. е. по существу связь с тектоникой, были развиты многими его современниками.

В 1857 г. Р.Маллет изучил последствия сильного землетрясения в Италии. Он впервые сделал попытку определить глубину очага землетрясений, а также ввел ряд новых терминов, общепринятых в настоящее время — фокус, эпицентр, изосейсты.

Изучение землетрясения Италии и Австрии привело Э. Зюсса к новым воззрениям о зависимости землетрясений от тектонических процессов и о связи распространения землетрясений с направлениями дислокаций. Зюсс предложил выделить наряду с вулканическими тектонические, или дислокационные, землетрясения. Эти представления, высказанные Зюссом впервые в 1875 г. и развитые затем в его труде «Лик Земли» в 1885 г., были дополнены его учеником Р. Хёрнсом, который в 1878 г. выделил третий тип — провальные землетрясения, связанные с размывающим действием воды преимущественно в карстовых областях. После работ Хёрнса и Зюсса выделение трех типов землетрясений прочно утвердилось в науке, причем наиболее сильными и разрушительными справедливо считались тектонические. К такому заключению пришли в конце XIX в. русские ученые А. П. Орлов, И. В. Мушкетов, Г. Д. Романовский, венгерские ученые Ф. Шафарцик и А. Рэтли и др.

Новые представления о причинах землетрясений как разрешения напряжений, возникающих вследствие тангенциального сжатия земной коры, выделение типа тектонических землетрясений, показывающее связь их с геологическим строением района и горообразовательными процессами, детальное

изучение землетрясений и их последствий — все это привело к выделению и оформлению новой науки — сейсмологии. Это название новой научной дисциплины было дано в 1884 г. немецким ученым З. Гюнтером.

Изучение землетрясений велось как путем непосредственного исследования их последствий и связи возникновения землетрясений с геологическим строением сотрясенной местности, так и на основании статистических и инструментальных данных. Нередко само землетрясение являлось поводом для усиления научных исследований.

Как пример можно привести разрушительное землетрясение в г. Верном (ныне Алма-Ата) в 1887 г., вызвавшем многочисленные работы русских ученых (И. В. Мушкетов, А. Е. Лагорио и др.), позднее землетрясения в Японии в 1923 г., Болгарии в 1928 г., Румынии в 1940 г. и др.



Г. В. Абих

Статистический метод заключается в сборе и обобщении в сводные каталоги сведений о происшедших землетрясениях, имеющихся в старинных документах, летописях, опросниках и т. п. Составленные на основании этих материалов каталоги помогают определить место и частоту повторяемости землетрясений. Примером подобной работы может служить каталог землетрясений, составленный венгерским ученым Г. Йеттелеш в 1860 г., исключительно полный и обширный «Каталог землетрясений Российской империи», составленный И. В. Мушкетовым и А. П. Орловым в 1893 г. и др.

Инструментальный метод, который лишь наметился в конце XIX в. и был развит позднее, определяет пограничное положение сейсмологии между комплексом геологических и физических наук. Сейсмология изучает землетрясения, с одной стороны, как геологические явления, а с другой — как результат прохождения сейсмических волн в толще Земли.

В 1870 г. А. П. Орловым был предложен проект сейсмометрографа — прибора для регистрации и записи землетрясений. Русский ученый П. А. Кельберг применил сконструированный им маятниковый сейсмограф для исследования землетрясения в Забайкалье. В 1880 г. в Японии были применены сейсмографы, сконструированные Д. Милном.

Изучение землетрясений приобрело в конце XIX в. такой широкий размах, что необходимы были специальные организации, занимающиеся этим вопросом. В 1880 г. была организована первая в мире Постоянная сейсмическая комиссия; в 1881 г. такая же комиссия была организована при Венгерском геологическом обществе, в 1896 г. в Англии был основан Комитет по изучению землетрясений, в 1897 г.—сейсмическая комиссия при Венской академии наук, в 1900 г.— Постоянная центральная сейсмическая комиссия в России. В 1903 г. в Страсбурге была создана Международная сейсмическая ассоциация.

Конец XIX в. явился временем расцвета контракционной гипотезы. Позиции ее особенно укрепились после открытия крупных надвигов в Альпах и Аппалачах, казалось, еще больше подтверждавших значительное сокращение земной коры. Контракционная гипотеза, усложняясь и развиваясь в течение второй половины XIX в., проходила различные стадии — от взглядов отражавших влияние более ранних представлений о доминирующей роли вертикальных сил, к признанию преимущественной роли горизонтальных сил и к представлениям об неоднородности земной коры и одностороннем давлении. Однако существовал затруднительный для контракционной гипотезы вопрос — о причинах локализации складок на земной поверхности. Для объяснения линейного расположения горных цепей были высказаны различные предположения, нередко сводившиеся к попыткам истолковать это расположение путем применения геометрических законов.

Эли де Бомон еще в 1829 г. высказал предположение, что Земля при охлаждении превращается из шара в гигантский кристалл космических размеров. Ребра этого кристалла составляют горы. Системы параллельных горных цепей соответствуют большим кругам, пересечения которых в свою очередь соответствуют вершинам вписанного пентагонального додекаэдра. Считая, что параллельные горные хребты одновозрастны, Эли де Бомон полагал, что образование каждой группы параллельных горных цепей происходило одновременно. Количеству больших кругов, по которым расположены горные системы, соответствует количество переворотов на Земле, главнейшие из которых происходили на границе геологических периодов. В дальнейшем, развивая свои взгляды, Эли де Бомон насчитывал все больше таких одновозрастных систем, а следовательно, и переворотов в истории Земли. Несмотря на то, что искусственная пентагональная гипотеза Эли де Бомона не была подкреплена фактическими данными, она пользовалась большой популярностью и имела много сторонников благодаря высокому авторитету ее автора.

Изучение раположения материков и океанов дало повод английскому геологу В. Грину выдвинуть гипотезу тетраэдрической фигуры Земли и расположения горных систем. По мнению этого ученого, фигура Земли имеет прямую связь с происхождением Земли и ее внутренним расплавленным состоянием. При охлаждении земного сфероида он стремился приблизиться к форме тетраэдра — это доказывает вытянутая остроконечная форма континентов южного полушария. Деформация сопровождалась тетрагональными разломами, соответствующими горным системам. Ребра тетраэдра соответствуют материкам, а вдавленные полости — океанам (Green, 1875).

Тетраэдрическая гипотеза также имела много сторонников. Особенно важны были попытки доказать эту гипотезу путем эксперимента — тектонического моделирования. Последователем этой гипотезы был французский ученый А. Мишель-Леви, обосновавший свои предположения значительно бо́льшими, чем у Грина, геологическими данными. Он выделил, вслед за М. Бертраном, зоны герцинской и альпийской складчатости и линии разломов, которые в совокупности образуют сложную фигуру — тетраэдроид, состоящий из двенадцати треугольных пирамид. Линии, соединяющие современные действующие вулканы, образуют, по Мишель Леви, шесть больших кругов, которые в свою очередь намечают два тетраэдра — бореальный, т. е. северный, и австральный, т. е. южный.

Заслуживает внимания также гипотеза прямоугольной сети, предложенная французским геологом М. Бертраном. Исследования геологического строения Парижского бассейна привели его к общим выводам о том, что системы складок находятся в зависимости от магнитных полюсов Земли и располагаются по параллелям и меридианам (Bertrand, 1892).

Все гипотезы о приуроченности зон складчатости к определенным направлениям на поверхности Земли были в общем основаны на предположении о сжатии Земли, в результате которого получилась та или иная геометрическая фигура, т. е. на гипотезе контракции. Искусственность построений в приведенных выше примерах не позволила приблизиться авторам к правильному решению этого вопроса, хотя сама ее постановка и первые попытки решения представляют их несомненную заслугу. Более правильным, чем стремление «втиснуть» Землю в какую-либо простую геометрическую фигуру, было рассмотренное выше предположение Э. Зюсса о неоднородности земной коры. Однако следует отметить, что и для современной науки, несмотря на неизмеримо бо́льшую геологическую изученность нашей планеты, несомненно существующие закономерности расположения и контуры материков и океанов и направлений складчатости продолжают оставаться загадкой и являются предметом различных гипотез.

Положения контракционной гипотезы, казалось, находят подтверждение и в изучении структур горных систем. Кроме упомянутых выше работ Э. Зюсса и А. Гейма по исследованию Альп и гор Юры, следует отметить также труды американского геолога Б. Виллиса. На основании изучения Аппалачей он пришел к заключению, что эта складчатая система также является результатом тангенциального сжатия, и путем моделирования показал возможность образования подобных складок при боковом давлении (Willis, 1893). Структурная геология, как самостоятельная ветвь геотектоники, получила развитие несколько позднее, лишь в XX в.

Необходимо отметить, что для развития геотектоники весьма важным было изучение не только процессов горообразования, но также поднятий и опусканий крупных участков поверхности Земли, известных еще с античных времен. На существование «долговременных нечувствительных» колебаний земной коры было указано М. В. Ломоносовым. Термин «колебательные движения» был предложен в середине XIX в. А. Д. Озерским. В 1890 г. американский геолог Г. К. Джильберт определил два типа тектонических движений: орогенические, т. е. горообразовательные, и эпейрогенические, т. е. крупные, колебательные движения больших площадей (Gilbert, 1890).

При господствующем положении контракционной гипотезы уже в конце XIX в. появились попытки дополнить или развить некоторые ее стороны, особенно на основании представлений о вязком подкоровом состоянии вещества Земли. Как было сказано выше, таковыми были гипотеза изостазии и учение о геосинклиналях.

Гипотеза изостазии была основана на новых, полученных к тому времени данных о колебательных движениях крупных участков поверхности Земли. Этот факт трудно было объяснить с помощью одних лишь положений контракционной гипотезы. Термин «изостазия», т. е. равновесие, был введен американским геологом К. Э. Деттоном. Он предположил, что когда в процессе денудации с одних участков земной поверхности происходит снос материала, этот участок становится легче и как бы всплывает на подстилающей его вязкой подкоровой массе; в другом же месте, где отлагается сносимый материал, земная кора прогибается. Таким образом происходят вертикальные колебательные движения земной коры, которые вызывают, в свою очередь, перетекание вязкого подкорового вещества из-под погружающегося участка к поднимающемуся. Однако поднятия более крупных участков земной коры, как думал Деттон, вызываются не изостазией, а изменением плотности подкорового вещества. По мнению Деттона, вертикальные движения земной коры необратимы, поднятые участки никогда не могут опуститься, а опущенные — подняться. Когда будет достигнуто равновесие, колебательные движения вообще прекратятся. Эти предположения Деттона противоречили геологи-

ческим фактам о постоянном и повсеместном проявлении этих явлений и не могли быть приняты наукой. Однако важно отметить, что гипотеза изостазии в отличие от господствовавших в эту эпоху взглядов была основана на представлении о первенствующем значении вертикальных сил. Тем самым это представляет некоторый возврат к гипотезе поднятия, с развитием прежнего принципа на новой научной основе. Идея о преобладающем значении вертикальных движений вновь возродилась значительно позднее, во второй четверти XX в. Принцип изостазии также получил свою дальнейшую разработку и после некоторых колебаний завоевал общее признание. Вместе с тем следует отметить, что стремление к равновесию действительно существует и в некоторых случаях сглаживает или затушевывает тектонические движения.

С принципами контракционной гипотезы было связано также одно из важнейших научных обобщений в геологии — теория геосинклиналей.

Геосинклиналь, в современном понимании, это область земной коры, характеризующаяся высокой подвижностью, большой амплитудой колебательных движений, большой мощностью осадков, интенсивным вулканизмом, складкообразованием. Понятие о таких областях Земли зародилось во второй половине XIX в. Учение о геосинклиналях позволило представить ход развития земной коры как ряд закономерно сменявшихся состояний, как закономерную ее эволюцию. Многочисленные, но разрозненные геологические наблюдения о мощности и характере залегания слоев и геологической истории отдельных районов были обобщены в стройную систему.

Теория геосинклиналей в ее первоначальном виде была высказана американскими геологами, так как в Северной Америке очень хорошо выражено различие между разными типами строения земной коры — горизонтальным залеганием слоев осадочных пород в долине р. Миссисипи и мощной толщей складчатых осадочных пород Аппалачей. Это описал в 1859 г. американский геолог Д. Холл и сделал общий вывод о существовании крупных прогибов земной коры, в которых сначала накапливаются мощные толщи осадков, а затем происходит их смятие в складки. В основе представлений Д. Холла лежала идея об опускании дна прогибов под тяжестью осадков. В дальнейшем учение о геосинклиналях развивалось на основе контракционной гипотезы.

Американский геолог Д. Дэна (Dana, 1873) наряду с идеями об общем строении Земли, о поднятиях и опусканиях на континентах и сжатии Земли от охлаждения отметил существование узких корытообразных впадин на границе между материками и океанами, где боковое давление оказывается наиболее сильным. Эти впадины, впервые названные Дэна геосинклиналями, заполняются осадками, которые вследствие бокового давления сминаются в складки, в результате чего образуются складчатые горные хребты.

Учение о геосинклиналях перекликается с представлением о неоднородности земной коры, развитым Э. Зюссом в 1875 г. Зюсс ссылается на работу Дэна, опубликованную лишь двумя годами раньше его собственной. Фактически идеи Зюсса о древних глыбах — архиболах и подвижных зонах, в которых накапливающиеся осадки сминаются в складки, являются развитием теории геосинклиналей, хотя Зюсс в своих работах не употреблял этого термина.

Несколько позднее, в 1887 г. французский ученый М. Бертран выделил эпохи горообразования в истории Земли, названные им гуронской, каледонской, герцинской и альпийской, в течение которых происходило образование прогибов и смятие заполнявших их осадков. В 1896 г. Бертран наметил различные стадии развития геосинклиналей.

Несмотря на несомненную правильность идей, заключенных уже в первых работах о геосинклиналях, учение это лишь постепенно завоевывало

популярность. Развитию этого учения способствовали работы А. П. Карпинского (1887, 1894), занявшегося изучением консолидированных «спокойных областей» земной поверхности, названных им впоследствии, по терминологии французских геологов, платформами. Эти исследования явились обобщением огромного материала по геологии России, накопленного к концу XIX в. Карпинским были впервые составлены многочисленные палеогеографические карты для территории Русской платформы, на которых были показаны изменения очертаний древних морей в ее пределах. Таким образом, впервые была раскрыта история геологического развития данного участка земной коры. Карпинский подчеркивал, что существуют два рода «волнообразно-колебательных» движений — одни, более крупного масштаба, образуют океанические впадины и материковые поднятия, другие, меньшего масштаба, образуют впадины и выпуклости местного характера в пределах платформы. Местные колебательные движения Русской платформы, как было показано Карпинским, проявлялись в двух направлениях: меридиональном, параллельном Уральскому хребту, и широтном, параллельном Кавказу.

Работами Карпинского было показано, что платформы являются не неподвижными, неизменяемыми участками земной поверхности, а развиваются и изменяются, и что развитие платформ и геосинклиналей оказывается тесно связанным. Таким образом, этими работами еще раз было подчеркнуто эволюционное развитие Земли.

Следует отметить, что свои выводы А. П. Карпинский основывал на принципах контракционной гипотезы, считая, что эта гипотеза принадлежит к «счастливейшим научным завоеваниям» (Карпинский, 1947, стр. 102).

Между тем накопленный фактический материал все более показывал несовершенство и недостатки контракционной гипотезы, наталкивая научную мысль на новые пути для установления закономерностей развития земной коры. Однако теория геосинклиналей, связанная ранее с положениями этой гипотезы, развивалась в дальнейшем самостоятельно и стала основным звеном развития геотектоники в последующем периоде.

СТАНОВЛЕНИЕ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ

Интерес к истории развития земной поверхности и естественное стремление научиться расшифровывать геологические явления относятся к ранним ступеням научного мышления человечества.

Попытки реконструировать обстановки прошлого имеются в трактатах Бируни, Авиценны, сочинениях Леонардо да Винчи, Н. Стенона и других натуралистов глубокой древности. В XVII—XVIII вв. находки трупов мамонтов, носорогов и других палеонтологических остатков, изучение янтаря и особенно каменного угля [1] побудили естествоиспытателей к первым серьезным выводам в области палеогеографии. На основе сходства современной фауны и флоры с ископаемыми органическими формами А. Жуссьё, В. Н. Татищев Ж. Бюффон, А. Л. Моро, М. В. Ломоносов, П. С. Паллас высказывали различные предположения об изменении климата и о переносе экзотических животных наводнением.

Предыстория палеогеографии показывает, что вначале чаще всего делались п а л е о к л и м а т о л о г и ч е с к и е выводы. А вообще элементы палео-

[1] Главнейшими из первоначальных объектов палеогеографического анализа были угленосные толщи, некоторые стадии процесса образования которых (на примере торфяников) можно наблюдать в современных условиях. До настоящего времени широко известны описания картины жизни каменноугольного леса, сделанные Ад. Броньяром, Г. Р. Геппертом и К. Ф. Рулье.

географии отчетливо прослеживаются задолго до появления даже геологии как науки, являясь, как правило, результатом применения актуалистического метода при расшифровке геологических документов разреза земной коры.

В разных странах многие естествоиспытатели пользовались м е т о д о м а к т у а л и з м а одновременно или почти одновременно, причем более или менее интуитивно до середины XVIII в. и вполне сознательно, с научных позиций, в конце XVIII — начале XIX вв. Изучая современные геологические процессы, среду, в которой они протекают, а также результаты их деятельности, оказывалось возможным путем сравнения распознавать аналогичные явления в летописи Земли и тем самым воссоздавать прошлые физико-географические условия.

В начале XIX в. исследователи многих стран проявляли особенно большой интерес к истолкованию условий образования «эрратических» валунов — свидетельств недавних событий геологического прошлого на территории Европы. Так, например, катастрофисты вулканистического направления во главе с Л. Бухом связывали широкое распространение валунов и другого несортированного материала в Северной Европе с мощными грязевыми потоками, хлынувшими с возникавших горных цепей при быстром процессе горообразования. В целом же до 60-х годов относительно этих экзотических глыб конкурировали в основном два мнения. Э. Ф. Вреде, А. И. Арсеньев, Р. И. Мурчисон, Ч. Лайель, К. А. Гофф и другие полагали, что разнос валунов по равнинам Европы осуществлялся с помощью льдин, плавающих в полярном море, т. е. придерживались гипотезы дрифта. В. М. Севергин, Г. К. Разумовский, И. Венец, И. Эсмарк, И. Бернгарди, В. Бетлинг, И. Шарпантье, Л. Агасиц считали валуны результатом деятельности горных ледников, т. е. были сторонниками глетчерной теории. Возникновение мысли о перемещении экзотических камней ледниками невозможно приурочить к определенному году или приписать какому-то ученому. Явление это давно было известно жителям горных стран, в частности проводнику И. Шарпантье крестьянину Д. П. Перродену (Бертран, 1867). Естествоиспытатели зачастую делали лишь проверку народных наблюдений и научно их осмысливали.

В середине XIX в. сторонники водного разноса «эрратических» валунов признавали одновременно и оледенение северных окраин материков Европы и Америки. Таким образом, идея покровного оледенения сосуществовала с гипотезой дрифта и постепенно развивалась из последней. Попытки восстановления физико-географических условий ледникового периода явились одним из важнейших моментов в становлении и развитии палеогеографии суши.

Применение палеонтологического метода привело в первой половине XIX в. к разработке основ стратиграфической шкалы — надежного фундамента для палеогеографических построений. Успехи стратиграфии определили в целом зарождение и развитие палеогеографии, ибо только после установления в разрезах одновозрастных горизонтов можно приступать к палеогеографическим исследованиям.

Важную роль на раннем этапе развития палеогеографии сыграло у н и ф о р м и с т с к о е у ч е н и е Ч. Лайеля (Lyell, 1830—1833), постулирующее однообразие и постоянство сил, изменяющих земную поверхность. Как следствие, вытекающее из этих принципов, довольно быстро распространилось мнение, утверждавшее, что непрерывные процессы и явления, будучи незаметными в каждый отдельный момент, интегрируются в течение огромных промежутков геологического времени и отчетливо проявляются в грандиозных преобразованиях земной коры.

Идеи классического униформизма находили свою реализацию в палеогеографических реконструкциях вплоть до начала XX в. Последователи униформизма при этом неслучайно ограничивались выводами о тождественности

результатов деятельности различных агентов во все периоды геологической истории, так как если в органическом мире изменения фиксировались довольно четко, то в неорганическом — заметить их было гораздо труднее.

В то же время поступательное развитие органического и неорганического мира неизбежно заставило диалектически относиться к сопоставлению современных и прошлых геологических явлений. Еще М. В. Ломоносов в 1763 г. отстаивал исторический подход к изучаемым геологическим объектам, указывая на невозможность путем простого сравнения истолковать все без исключения явления в природе. В 1839 г. Д. И. Соколов учитывал непрерывные изменения физико-географических условий, которые приводили к возникновению обстановок, в одних случаях препятствующих, а в других—способствующих образованию каких-либо минералов или горных пород. К. Ф. Рулье в 1852 г. писал о том, что развитие живой и неживой природы не есть простая повторяемость одних и тех же изменений, совершавшихся в длительной геологической истории, а процесс необратимый, характеризующийся общими закономерностями направленного развития земной коры с качественным ее преобразованием.

Ряд ученых, в том числе русских геологов, еще в первой половине XIX в. не могли полностью согласиться с трактовкой принципа однообразия как обязательного закона развития неорганической природы. Они указывали, что, исходя из этого принципа, невозможно объяснить все многообразие прошлых явлений, ибо понимали развитие органического и неорганического мира как сложный исторический процесс, не исчерпывающийся ныне действующими факторами. К. Ф. Рулье в 1854—1857 гг., А. П. Богданов в 1856 г., Ч. Дарвин в 1859 г. и В. О. Ковалевский в 1875 г., подчеркивая роль сравнительно-исторического метода в естествознании, указывали, что необратимость развития природы не исключает в качестве частного момента сохранение относительного постоянства, сходства, т. е. повторяемость характера основных геологических процессов. Эта мысль в дальнейшем постепенно утвердилась в науке, а на основе идеи о необратимости развития живой и неживой природы было создано эволюционное учение, сыгравшее чрезвычайно важную роль в формировании методологических основ палеогеографии.

В XIX в. подавляющее большинство как отечественных, так и зарубежных геологов, были убеждены, что современные природные факторы постоянно действовали в минувшие фазы жизни Земли, обусловливая образование конгломератов, песчаников, глин, известняков, эффузивов и других пород. Все это позволяло с помощью метода актуализма воссоздавать, хотя и односторонне, древние физико-географические условия. Основополагающую роль при этом сыграло появление в геологии понятия о фациях, переросшее затем в учение о фациях, которое, по существу, предопределило развитие палеогеографии в дальнейшем.

На различный состав и общий характер одновозрастных осадочных образований впервые обратил серьезное внимание А. Грессли, изучая в 1838—1840 гг. отложения окрестностей г. Золотурна (Швейцария). В пределах горизонтального распространения слоев им были подмечены участки, характеризующиеся однородным петрографическим составом и одинаковыми палеонтологическими остатками. Эти хорошо определяемые изменения в разных местах слоя , или «замкнутые модификации», по Грессли, получили название «facies» (в переводе с латинского — лицо, облик, наружность). Тем самым был сделан важный вывод о том, что разнородные осадки одного и того же стратиграфического уровня отражают различия в условиях их образования.

С середины XIX в. исследователи из-за сложности представления о фациальных особенностях отложений определяли фации чаще по литологиче-

ским или палеонтологическим признакам породы либо по их совокупности, указывающей на палеогеографическую обстановку образования осадочной толщи. А. Оппель, например, изучая 1856—1858 гг. юрские отложения Западной Европы, вкладывал в понятие «фация» палеонтологическую характеристику слоя, выделяя *Spongitenfacies*, *Korallenfacies*, *Myacitenfacies* и *Cephalopodenfacies*.

Метод актуализма дал возможность сделать первые шаги в разработке фациального анализа, а систематический рост регионально-геологических исследований в разных странах способствовал совершенствованию методики. Изучение образа жизни современных форм животных и растений явилось надежной основой для палеоэкологических наблюдений, представляющих собой второй важный аспект анализа фаций. Однако литологический анализ явно преобладал в палеогеографических исследованиях до начала XX в.

Накопление разнообразнейшего фактического материала обусловило необходимость классификации фаций. Э. Мойсисович (Mojsisovics, 1879) пытался это сделать с хорологической (пространственной) точки зрения и предложил термины для разных случаев соотношения фаций. Различным одновозрастным фациям он дал название «гетеропичные», или «гетеропические», а одинаковые, но разновозрастные фации называл «изопичные», или «изопические». Э. Реневье (Renevier, 1884) предлагал выделять фации после предварительного разделения их на морские и континентальные. Так постепенно утверждалось палеогеографическое понимание фаций, и огромное значение фациального анализа в восстановлении истории геологического развития ни у кого не вызвало сомнений.

Геологи второй половины прошлого столетия, опираясь на палеонтолого-литологические наблюдения, более или менее точно выделяли в разрезах мелководные и глубоководные образования. После выхода в свет в 1859 г. работы Э. Зюсса «О местообитаниях плеченогих» широко распространилось мнение, что палеонтологические признаки фаций являются прямой функцией глубины, на которой отлагались осадки в прошлом. Так, брахиоподы считались представителями глубоководной фауны, и если в известняке или мергеле обнаруживались плеченогие, то делался вывод о глубоководности соответствующих образований. Мелководность отложений устанавливалась в том случае, когда, например, в песчанике изобиловали остатки пластинчатожаберных и брюхоногих моллюсков. Подобные определения фациальных условий прошлого, базировавшиеся на вычислениях процентных соотношений соответствующих видов фауны в слоях, можно встретить в работах многих крупнейших геологов вплоть до начала 80-х годов XIX в.— Н. А. Головкинского, И. Ф. Синцова, А. А. Иностранцева, С. Н. Никитина, А. В. Гурова и др. Правда, В. О. Ковалевский подчеркивал, что глубина не является единственным фактором распределения организмов, ибо на расселение фауны влияет «множество других причин, из которых главные суть — свойства дна и присутствие или отсутствие морских течений» 1874, стр. 51).

В 1889 Н. И. Андрусов сопоставил результаты глубоководных исследований, коснувшись распределения осадков и организмов в морях и океанах. Он подробно охарактеризовал фациальные условия береговой, архибентальной, абиссальной батиметрических зон, подчеркнув, что «дно у берега может понижаться и мы уже в небольшом от него расстоянии встретим осадки и фауну глубоководные, хотя и прибрежные. Наоборот, среди океана, вдали от берегов, дно может настолько приближаться к поверхности, что осадки, его покрывающие, будут принадлежать уже к мелководным» (Андрусов, 1889, стр. 335). С учетом этих особенностей успешнее решались вопросы об относительной глубине отложения тех или иных древних осадков.

Изучение законов расселения современных организмов позволило М. Неймайру, А. П. Павлову, С. Н. Никитину и Н. И. Андрусову определить роль миграции фауны в геологическом прошлом и тем самым объяснить факты внезапного появления в геологических разрезах таких органических форм («криптогенных»), которые не имеют предков в отложениях нижележащего горизонта.

Научный подход геологов к познанию закономерностей процессов захоронения разнообразных органических остатков содействовал детализации палеогеографических построений. Так, на основе тщательного анализа условий захоронения каменного угля Ад. Броньяр, Р. И. Мурчисон, Э. И. Эйхвальд и С. С. Куторга воссоздавали физико-географические обстановки областей угленакопления, поставив одновременно вопрос об автохтонном и аллохтонном происхождении угля. Большое значение с точки зрения методики изучения условий захоронения имели исследования В. П. Амалицкого (1900) о пермских наземных животных на Северной Двине.

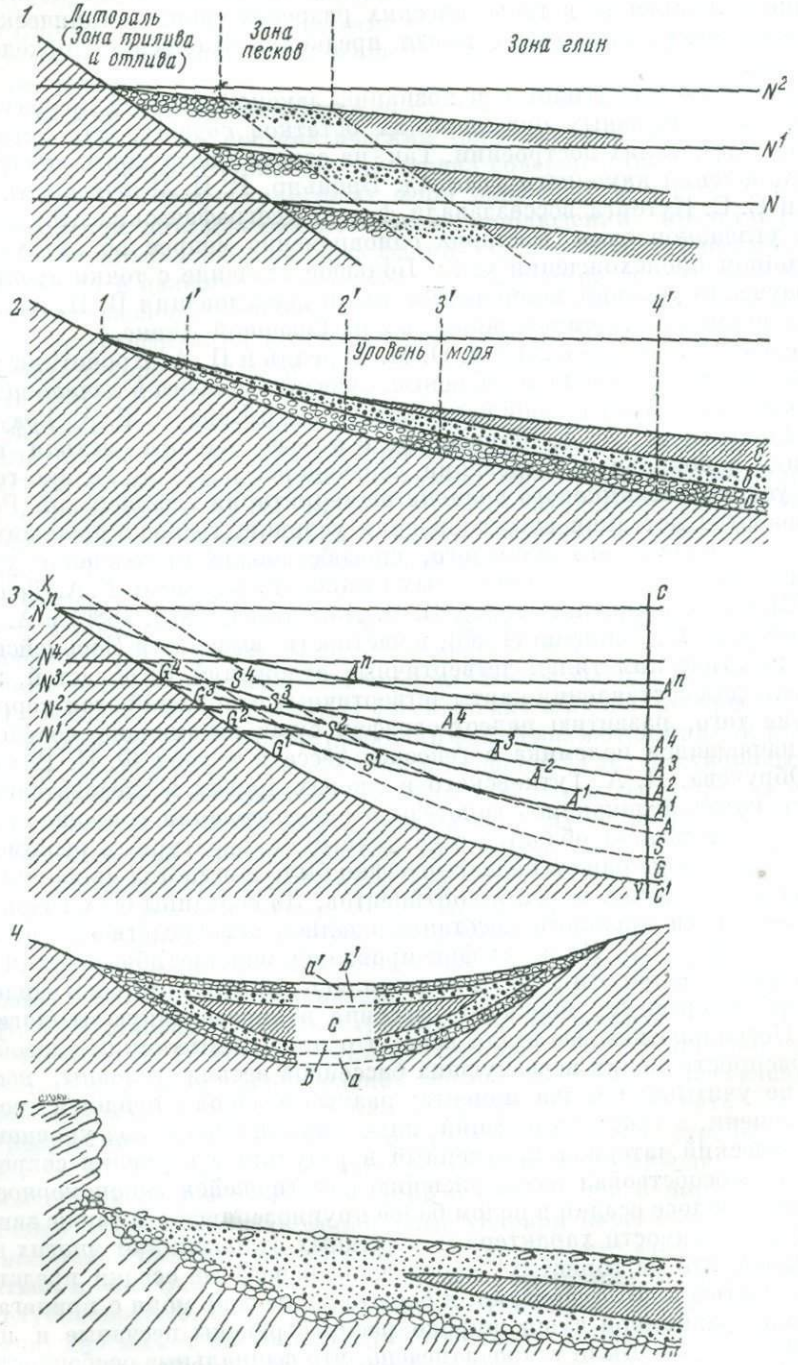
В середине 70-х годов XIX в. О. М. Торелль и П. А. Кропоткин разработали теорию материкового оледенения, существовавшего в начале четвертичного периода на значительной части поверхности Европы. Г. А. Траутшольд, А. А. Иностранцев, А. А. Штукенберг и другие геологи, исходя из представлений о покровном оледенении, успешно воссоздавали физико-географические условия ледникового времени на территории Европейской России.

Разработке методики восстановления условий, господствовавших на материках геологического прошлого, способствовало становление учения о генетических типах континентальных отложений в работах Г. А. Траутшольда (1872), С. Н. Никитина (1884), В. В. Докучаева (1878, 1886) и А. П. Павлова (1888). С. Н. Никитин (1886), в частности, выделил в Европейской России по генетическим типам четвертичных отложений 10 областей, заложив фундамент для составления карты четвертичных отложений этой территории.

Кроме того, развитию палеогеографии суши несомненно содействовала также начавшаяся полемика о генезисе лёсса в трудах Ф. П. Рихтгофена, В. А. Обручева, П. А. Тутковского и многих других исследователей, в результате которой появились гипотезы о существовании в прошлом пустынных и полупустынных областей с различным температурным режимом.

Одной из главнейших в палеогеографии была и остается проблема определения границ древних морей и континентов. До середины 60-х годов XIX в. береговые линии прошлого восстанавливались непосредственно по данным геологической карты. На карте фиксировались морские образования какого-либо возраста. Затем эти пункты соединялись линией, которая и свидетельствовала об очертаниях морского бассейна в определенную геологическую эпоху. Несколько позднее стало ясно, что проводимые таким способом границы распространения исчезнувших бассейнов весьма условны, поскольку совсем не учитывались два момента: размыв осадков с течением геологического времени, а также отложения, находящиеся сейчас под уровнем моря.

Фактический материал, полученный в результате изучения современных водоемов, способствовал подтверждению наметившейся закономерности, что в береговой полосе осадки в целом более крупнозернисты, а также свидетельствовал о зависимости характера прибрежных отложений от многих причин. Выяснилось, что на гористых побережьях береговые осадки представлены большей частью конгломератами, в береговой же зоне моря с прилегающими участками равнинной суши широко распространены песчаные и песчано-глинистые осадки. Было также замечено, что фациальные особенности древних береговых образований не всегда отчетливо выражены в разрезе; показано, что облик прибрежных отложений в первую очередь обусловливается составом пород прилегающих к берегу областей сноса, а потому подчеркнута


1
Литораль (Зона прилива и отлива)
Зона песков
Зона глин
N²
N¹
N
2
1
1'
2'
3'
4'
Уровень моря
c
b
a
3
X
n
N
c
N⁴
N³
N²
N¹
G⁴
G³
G²
G¹
S⁴
S³
S²
S¹
Aⁿ
A⁴
A³
A²
A¹
A
S
G
c¹
4
a'
b'
c
b
a
5

важность тщательного минералогического и гранулометрического анализов осадочных толщ при палеогеографических исследованиях.

Наиболее детально реконструировались древние морские береговые линии для лучше изученных и главным образом для новейших этапов геологической истории. Г. А. Траутшольд, В. О. Ковалевский, С. Н. Никитин, М. Неймайр, А. Лаппаран, Ф. Фрех, А. П. Павлов, Н. А. Андрусов и другие геологи успешно устанавливали границы морских бассейнов, изучая юрские, меловые, третичные и четвертичные образования.

В отношении наиболее древних и менее изученных этапов геологической истории развития возникали естественные трудности при выделении прибрежных фаций, а поэтому «все схематично проводимые границы древних морей,— как справедливо подчеркивали С. Н. Никитин и В. А. Наливкин, ... могут с равным успехом быть на добрую сотню верст и более отодвигаемы в разные стороны» (1896, стр. 94).

Во второй половине XIX в. получил научное освещение процесс слоеобразования в осадочных толщах и одновременно были установлены закономерности изменчивости фаций во времени и пространстве. Некоторые особенности взаимоотношения разных фаций в морских бассейнах впервые дал Н. А. Головкинский (1869), который рассмотрел фациальную изменчивость по горизонтали. Он показал, что передвижение береговой линии, обусловленное восходящими и нисходящими движениями земной коры, всегда приводит к смещению фаций. В результате этого отдельные, литологически однообразные слои по существу разновозрастны в разных своих частях.

А. А. Иностранцев (1872) рассмотрел фациальную изменчивость в вертикальном направлении. Он показал, что слои, будучи совокупностью различных фаций, литологически неодновозрастны во всех своих частях по нормали к береговой линии. «То, что мы видим вертикально направленным, — утверждал А. А. Иностранцев,— должно являться нам с тем же характером в горизонтальном направлении и обратно» (1872, стр. 151). Почти такую же формулировку несколько позднее дал Г. А. Траутшольд (1877). А. А. Иност-

---

Рис. 8. Смена фаций в горизонтальном и вертикальном направлениях, по А. Рюто (Rutot, 1883)

1—4 — различные фазы процесса образования слоистой структуры осадочных пород; *5* — результат этого процесса, наблюдаемый в разрезе.

N, N^1, N^2, N^3, N^4 — различные уровни моря, соответствующие последовательным фазам опускания континента; *1—1′* — полоса вдоль современного побережья, где на минимальной ширине, соответствующей зоне приливов и отливов, происходит отложение гальки, гравия и грубоокатанных обломков в виде непрерывного слоя; *1′—2′* — полоса, отстоящая несколько дальше от берега в направлении к открытому морю. По вертикали здесь наблюдается слой гравия (в основании), похожий на ранее упоминавшийся, который затем постепенно переходит в рыхлый песок с более или менее крупными зернами; *2′—3′* — полоса, отстоящая еще дальше от берега. В основании здесь наблюдается слой гравия, перекрытого песками, переходящими выше в мелкозернистые пески, а затем в тонкозернистые пески с примесью глинистого материала; *3′—4′* — полоса, расположенная на значительном расстоянии от берега и на большой глубине. В основании присутствует слой гравия, перекрытый песками, становящимися выше более мелкозернистыми, и, в свою очередь, перекрытыми песчанистой глиной, которая затем переходит в чистую глину. Переходы между осадками различного литологического состава постепенные. *a* — непрерывный слой гравия («гравий затопления»), выстилающий все дно погруженной части бассейна; *b* — прослой слоистых песков, грубозернистых и рыхлых в основании, выше все более мелкозернистых *c* — прослой глины, внизу тонкопечанистой, выше все более чистой. *XY* — поверхность дна моря; G^1, G^2, G^3, G^4 — зоны отложения гравия; S^1, S^2, S^3, S^4 — зоны отложения песков; A^1, A^2, A^3, A^4 — зоны отложения глинистых осадков; $G^1S^1A^1$, $G^2S^2A^2$, $G^3S^3A^3$, $G^4S^4A^4$ — ряды литологически разнородных, но одновозрастных осадков, которые отложились в периоды опускания морского дна соответственно на N^1, N^2, N^3, N^4; *GSA* — литологически однородные, но разновозрастные пласты, включающие каждый соответствующую зону гравия (G^1, G^2, G^3, G^4), песка (S^1, S^2, S^3, S^4) и т. д., *aa′* — внешняя оболочка гравия, состоящая внизу из «гравия затопления» (*a*), а выше — «гравия осушения» (*a′*); *bb* — внутренняя песчаная оболочка, сложенная песками все более и более тонкозернистыми по мере приближения к центру; *c* — глинистое ядро, в центральной части которого сосредоточены наиболее чистые разности глин.

ранцев предвосхитил И. Вальтера, который спустя 20 с лишним лет писал: «Первично только такие фации могут перекрывать друг друга, которые в современных условиях мы наблюдаем лежащими рядом» (Walther, 1893—1894, стр. 979). Другими словами, в вертикальном направлении может происходить смена лишь таких фаций, которые принадлежат соседним районам осаждения.

Проблему смены фаций по разрезу и в плане разработал также А. Рюто (Rutot, 1883), причем гораздо подробнее, чем его предшественники и геологи более позднего времени (рис. 8). И. Вальтер (Walther, 1893—1894) в книге «Введение в геологию как историческую науку» возвел фациальную изменчивость при слоеобразовании в ранг геологической закономерности, дав ей название «Korrelation der Facies». С тех пор «закон согласования фаций» вошел в литературу с именем И. Вальтера.

«Закон фаций» сыграл важную роль в развитии палеогеографии, так как благодаря установлению закономерностей в смене фаций появились широкие возможности реконструкции движений земной коры по ее разрезу почти в любом районе. Одновременно наметился путь предварительной расшифровки физико-географических условий эпохи образования того или иного комплекса осадочных пород.

Учет фациальных особенностей позволил И. П. Энгельману, К. Ф. Рулье, В. О. Ковалевскому, М. Неймайру, С. Н. Никитину судить не только о климатических условиях отдельных геологических эпох, но и довольно обоснованно наметить палеоклиматическую зональность на земном шаре. На основе различных типов осадочных толщ и главным образом содержащихся в них органических остатков уже для каменноугольного и особенно юрского периодов устанавливались тропический, умеренный и полярный климаты. Однако по вопросу о причинах, вызывающих изменение палеоклиматических условий, не существовало единого мнения. В частности, четвертичное оледенение одни исследователи связывали с восходящими движениями, менявшими рельеф суши и конфигурацию океанов, другие — с изменениями содержания углекислоты в атмосфере, третьи — с воздействием космических факторов (скорость вращения Земли, перемещение полюсов, изменение интенсивности излучения Солнца).

Первые графические изображения физико-географических условий прошлого начали появляться в трудах геологов с середины XIX в., когда были заложены основы биостратиграфии и успешно разрабатывалась методика определения условий отложения осадочных пород. При этом необходимо отметить, что в учебных руководствах по геологии первой половины XIX в. уже нередко делались палеогеографические обобщения для большинства геологических периодов.

Первые палеогеографические карты были составлены для таких этапов геологической истории, отложения которых оказались наиболее полно представленными в разрезах и лучше изученными на значительных территориях.

В 1860 г. Дж. Марку (Furon, 1941) опубликовал карту распределения суши и моря в юрский период для всего земного шара, указав на существование [1] в это время разных зоогеографических провинций. Г. А. Траутшольд (Trautschold, 1863) на основе геогностической карты Р. Мурчисона показал «вероятное распределение моря и суши в юрское время на площади Европейской России» (рис. 9). В 1863 г. Дж. Дэна составил карту аналогичного содержания, но только для территории Северной Америки в меловой период. В. О. Ковалевский (1874) посвятил работу проблеме соотношения юры и мела Европы в свете изучения зоогеографических областей и климатических зон,

[1] Вывод о наличии в мезозое различных зоогеографических провинций впервые сделал К. Ф. Рулье (1845) на основании сопоставления фауны юрских отложений в разрезах Европы.

развивая идею существования в это время Европейской, Среднеземноморской и Русской провинций. Для решения сложных вопросов стратиграфии В. О. Ковалевский один из первых использовал карты распространения моря в Европе, составленные им для поздней юры, титон-вельдского времени и среднего неокома. В конце 70-х и начале 80-х годов М. Неймайр рисовал для поздней юры палеогеографическую карту (рис. 10), сходную с построениями В. О. Ковалевского.

В последней четверти XIX в. проявилось стремление восстановить последовательную смену палеогеографических условий для всех геологических периодов Земли. Так, Г. А. Траутшольд (1877) изобразил графически на пяти картах распределение воды и суши в Европейской России, пытаясь дать развернутую историю геологического развития этого региона в камен-



Рис. 9. Одна из первых палеогеографических карт. Составлена Г. А. Траутшольдом (Trautscholdt, 1863)

1 — море; *2* — суша; *3* — части моря, представлявшие в юрское время морское дно, которое в меловое время в основном было уже сушей; *4* — пункты на море, где юрские отложения не найдены, но существование связи между различными частями морского бассейна можно считать вероятным.

ноугольный, пермский, юрский, меловой и третичный периоды. Следует отметить при этом, что его карта «Русского материка вовремя каменноугольной формации» по содержанию палеогеологическая.

А. А. Штукенберг опубликовал в 1878 г. очень интересную статью «Европейская Россия прошлых геологических эпох», но, к сожалению, без палеогеографических карт.

А. П. Карпинский в 1880 г. попытался восстановить картину распределения суши и моря для девона, карбона, перми и триаса Европейской России и, в частности, составил палеогеологическую карту, показывающую геологическое строение этой площади в конце каменноугольного времени. А. А. Иностранцев (1884) пытался реконструировать смену моря и суши на площади Европейской России в палеозое, мезозое и кайнозое, проиллюстрировав это на пяти палеогеографических картах.

Необходимо подчеркнуть, что перечисленные выше палеогеографические карты, как правило, отражали только изменения очертаний морских бассейнов на материках в геологическом прошлом.

В конце 80-х и начале 90-х годов вышли две широкоизвестные работы А. П. Карпинского (1887, 1894), в которых на палеогеографическом материале впервые были рассмотрены вопросы геотектонического развития Русской равнины и окаймляющих ее горных сооружений. Сопоставляя свои 11 палеогеографических карт, А. П. Карпинский заметил, что распределение древних морских бассейнов четко фиксирует преобладание широтных понижений в южной и средней частях Европейской Росии, меридиональных — в восточной ее части. В девоне, карбоне и перми, т. е. в периоды энергичных движений Уральского кряжа преобладали меридиональные понижения, а в средней юре, в позднем мелу, палеогене и неогене, когда происходили интенсивные движения Кавказа, преобладали широтные прогибания.

Палеогеографический анализ использовался А. П. Карпинским не только для показа распределения суши и моря или уточнения стратиграфических схем (как, например, у В. О. Ковалевского), но и с целью выяснения характера тектонических движений в пределах крупных участков земной коры. Эти обобщающие исследования А. П. Карпинского получили высокую оценку и мировое признание у современников. Фактически было подтверждено существование новой молодой науки — палеогеографии.

Можно утверждать, что в качестве самостоятельной отрасли знаний палеогеография оформилась постепенно к концу минувшего столетия. Появление ее было обусловлено запросами геологической практики, постоянно нуждающейся в выяснении генезиса полезных ископаемых с целью организации обоснованных поисков их залежей, а также требованиями теоретической мысли, стремящейся к выявлению особенностей прошлого Земли. Возникновению палеогеографии способствовали накопление огромного и разнообразного количества фактических данных геологических изысканий и глубокая дифференциация науки, охватившая во второй половине XIX в. все отрасли знаний. Правда, многие геологи этого времени считали палеогеографические исследования разделом исторической геологии. Значение, задачи и перспективы развития палеогеографии достаточно четко определил М.Неймайр в конце прошлого века. «Эта область исторической геологии народилась недавно, но быстро подвигающиеся исследования в отдаленных странах позволяют надеяться на большие успехи в недалеком будущем; при всей своей трудности они имеют огромное значение, так как, зная распределение моря и суши в различные эпохи, мы будем в состоянии ответить на целый ряд труднейших вопросов динамической геологии... но окончательное выяснение их принадлежит будущему» (Неймайр, 1902, стр. 30).



Рис. 10. Палеогеографическая карта М. Неймайра (1902), изображающая распространение морей в позднеюрскую эпоху

Во второй половине XIX в. продолжались исследования, выясняющие роль различных агентов в извержениях вулканов.

Большое значение для развития вулканологии имели классические работы в области исследования газов выдающегося французского вулканолога Ш. Сент-Клер Девиля. В результате кропотливых исследований минералов на вулканах Антильских островов, Тенериф, Везувии и Этне он пришел к выводу, что состав газов изменяется в зависимости от стадии извержения и от местонахождения их по отношению к выводному каналу. Вблизи от жерл обычно располагаются наиболее горячие газовые выделения (эксгаляции), которые представляют собой в основном сухие пары хлоридов щелочных металлов. С падением активности вулкана эксгаляции заменяются парами воды, сопровождаемыми вначале хлоридом аммония, хлористо-водородной кислотой и двуокисью серы, а в дальнейшем — двуокисью углерода. На некоторых неактивных стадиях вулканической деятельности выделяются только пары воды. Изучение эксгаляции и газов Ш. Сент-Клер Девиль проводил при обследовании в 1842 г. пика Тенериф на Канарских островах. В результате проведенных исследований в 50-х годах ему удалось показать, что этот вулкан нельзя считать кратером поднятия.

Гидротермальная гипотеза Жюльена и А. Добре (Daubrée, 1891) допускала циркуляцию воды внутри земной коры, в которой вода повсюду просачивается через залежи соли и растворяет их. Авторы этой гипотезы считали, что вода в капиллярном состоянии может проникать вниз, несмотря на сильное давление, противодействующее ее проникновению. По представлениям Добре, от огненно-жидкого состояния Земли каменные массы могут становиться текучими и способными к извержению. Об активной роли паров воды в вулканических извержениях писали также в своих трудах Ф. Фуке (Fouque, 1866), И. Джедд (Judd, 1881, 1876), Дэна (Dana, 1849), Ш. Сент-Клер Девиль (1856—1857 гг.) и др.

Итак, представления ученых XIX в. о причинах вулканических извержений включали значительное число различных факторов: 1) самовозгорание или возгорание горючих веществ от проникновения морской и метеорной воды извне; 2) расплавление каменных пород на глубине с участием воды; 3) химические реакции и окисление; 4) существование в ядре Земли и выше огненно-жидкой массы.

Представления о кальдерах. В развитии взглядов на вулканизм и тектонику важное значение на протяжении более чем 100 лет имел вопрос о кальдерах, который неоднократно вызывал острые дискуссии.

Впервые термин «кальдера» был введен Л. Бухом, который высказал ряд соображений о происхождении этих огромных, чаще всего круглых котловин, достигающих 10—15 *км* в поперечнике и несколько сотен метров в глубину. В соответствии со своей гипотезой кратеров поднятия Л. Бух считал кальдеру результатом изгибания потоков лавы и последующего образования на склонах вулкана зияющих трещин, а на вершине — большой депрессии, образовавшейся в результате ослабления вулканического очага.

В 60-х годах XIX в. в связи с критическими выступлениями против теории Л. Буха Зеебах, Фритиш и другие выдвинули и обосновали гипотезу взрывного, т. е. эксплозивного, образования кальдер. Они полагали, что кальдера и кратер образуются совершенно одинаково, при помощи взрывных сил. Эти взгляды основывались, вероятно, на наблюдениях над грандиозными взрывами при извержении вулканов Тамбора в 1815 г., Кракатау в 1883 г., Бандай-Сан в 1888 г. и Косеквина в 1895 г. Однако, как позднее было установлено, выброшенный взрывами старый материал на склонах вулканов

составлял лишь небольшое количество. Таким образом, сопровождающие взрывы явления переноса обломков лавы не подтвердили предложенную гипотезу.

В 1871 г. Ф. Гохштеттер, проведя опыты с маленькими конусами, сделанными из серы, высказал мысль об образовании жидкой лавы внутри конуса путем расплавления его стенок. В образованную этим плавлением пустоту могла обрушиться верхняя твердая часть конуса и образоваться кальдера. Эта идея была развита Вербееком в его работе, посвященной извержениям вулканов Кракатау и Тангеер в 1883 г.

К. Э. Деттон в 1884 г. и, следуя ему, многие американские геологи рассматривали кальдеру как вулканическую депрессию, образовавшуюся в результате процесса оседания, отвергая при этом предположение о взрывном происхождении кальдер. В настоящее время большинством исследователей признано, что образование кальдер связано с истощением или временным ослаблением вулканического очага и последующим оседанием.

О «внутренних» причинах извержений. В соответствии с различными взглядами исследователей на внутреннее строение Земли, различались и воззрения на причины и природу вулканических явлений.

По представлениям Г. Пулет-Скропа (Poulett-Scrope, 1872), все конические вулканы образовались путем насыпания рыхлых продуктов извержений и излияния потоков лавы и расположены главным образом на подземных трещинах. Соединительные каналы между внутренней частью Земли и ее поверхностью дают возможность поддерживать вулканическую деятельность. Температура подземной раскаленной магмы, пропитанной водой, под влиянием внутренней теплоты Земли время от времени повышается. Тогда под высоким давлением водяные пары вызывают землетрясения, образуют трещины в земной коре, в результате чего и происходят извержения вулканов. Последние являются как бы предохранительными клапанами, ограждающими окрестности от сильных землетрясений.

В противоположность Декарту, говорившему о центральном огне, В.Гопкинс (Hopkins, 1847) считал, что огонь разбросан в различных местах планеты, образуя на небольшом расстоянии от поверхности целые озера раскаленной расплавленной массы. Исходя из этого предположения, Т. Стерри Хант полагал, что ядро Земли твердое и что вулканические силы зарождаются между ядром и корой, в так называемом пластическом поясе. Этот пояс, по его мнению, состоит из пропитанных водой пород, которые доведены высокой температурой до состояния огненно-водяного плавления, называемого гидротермальным плавлением. Сторонниками этой гипотезы были Шэлер, Фишер и др.

На основе возникших представлений о твердом состоянии внутренних частей Земли исследователи стали пытаться свести все вулканические явления к механическим процессам. О. Фольгер в 1867 г., Ф. Мор в 1866 г. и Р. Маллет в 1873 г. высказали мнение, что механическая работа, производимая приливами и сжатиями внутри земной коры, должна превращаться в теплоту, которая может расплавить сдавленные горные породы. При доступе воды эта расплавленная масса горных пород могла бы со взрывом подняться вверх и вызвать вулканические извержения и сопровождающие их явления. Отрицая теорию Гопкинса, Маллет в сущности придерживался теории Дэна (Dana, 1849). Переводчик и комментатор сочинения Р. Маллета Г. Лебедев (1876) считал, что теория Р. Маллета не доказана, и, следовательно, нет необходимости ее принимать. Действительно, эта остроумная гипотеза не смогла завоевать признания из-за ряда противоречащих ей фактов, в частности относительного однообразия вулканических лав на всей планете.

В противовес гипотетическим механическим представлениям многие исследователи выступили с иными точками зрения относительно сил, способных пробудить вулканические явления. Э. Зюсс полагал, что выдавливание лавы является следствием движения земной коры, между тем как Дэна и некоторые другие авторы видели движущую силу в водных парах, которые якобы поднимают лаву вверх и обусловливают в вулканической деятельности взрывные явления. Расположение же вулканов вблизи морей они рассматривали как доказательство того, что источником воды для извержений служат моря и океаны.

Однако крупные географические открытия и расширение знаний в вулканах, расположенных вдали от морей или крупных озер, например во внутренних районах Азии и Африки, доказывали, что вулканические явления не зависят от близости морской воды. В связи с этим на смену приходят представления об участии в извержениях поверхностных вод (дождей, снегов, ледников, почвенных вод и т. п.), а также предположения об участии в извержениях газов при полном отсутствии влияния воды.

Так, Горини в своих теоретических построениях предполагал, что под земной корой существуют огромные скопления расплавленных и раскаленных каменных масс, которые извергаются без содействия воды. Силу, выталкивающую лаву, он приписывал газам. В подтверждение своих представлений Горини привлек наблюдения Борнемана в доменных печах, в которых на поверхности расплавленного свинца образовывались конусы и кратеры. В связи с широко распространенным мнением о существенном значении воды в механизме извержений пренебрежение Горини «водой» сказалось на отрицательном восприятии в ученом мире его теории, которая, в конечном итоге, так и не была признана. Однако эта теория наиболее близка к современным представлениям о важной роли газов в механизме извержений.

В конце XIX — начале XX в. с гипотезой, противоположной представлениям о сжатии Земли, выступил известный вулканолог А. Штюбель, который в продолжительном путешествии в вулканические области Эквадора в 1868—1877 гг. наблюдал факты, сыгравшие важную роль в развенчании теории кратеров поднятия. Главным и уязвимым в его гипотезе был вопрос о подъемной силе.

А. Штюбель (Stubel, 1901) видел подъемную силу и главный стимул вулканических явлений в расширении, которое якобы испытала огненно-жидкая масса в процессе охлаждения. В результате этого якобы произошло образование твердого панциря, который разрастался на поверхности Земли первоначально только в виде более плотной коры охлаждения. Остатки или очаги огненно-жидкой магмы находятся, по его представлениям, внутри этого панцирного покрова еще в значительном количестве. Когда же магма, наполняющая такие «периферические», т. е. близко залегающие от поверхности Земли очаги, расширяется, тогда она производит вулканические извержения. Причины всякой вулканической деятельности Штюбель искал в общих положениях гипотезы Канта — Лапласа и видел их только в охлаждении Земли и в переходе расплавленного жидкого вещества в твердое состояние. С первым же извержением периферический очаг истощается, но благодаря существованию соединительного канала обычно происходит проявление магмы из глубины, после чего наступают новые периоды извержений.

Оригинальная гипотеза А. Штюбеля была встречена и одобрениями, и рядом возражений. Существенным в этой гипотезе было представление о возникновении и однократном действии моногенного вулкана, якобы возникшего путем внезапного переворота, между тем как, следуя Пулетт-Скропу, большинство видело причину образования вулканических конусов в постепенном и многократном насыпании пеплов и излияния лав.

Наблюдения над вулканическими явлениями. На протяжении XIX в., особенно во второй его половине интенсивно накапливались научные наблюдения, проводимые непосредственно на действующих вулканах. Первая наблюдательная станция была создана в начале XIX в. на вулкане Этна, в ста шагах от того места, где, по преданию, в V в. до н. э. жил и наблюдал древний философ Эмпедокл. Место это и до сих пор называется «Торро-дель-философ», т. е. «башня философа».

На Везувии, помимо частых и многочисленных посещений кратера, в 1847 г. Д. Ф. Араго основал постоянную вулканологическую обсерваторию со специальной аппаратурой. Для детального химического анализа вулканических газов ею воспользовался, в частности, в 1855—1857 гг. Сент-Клер Девиль. В 1887 г. химический состав газов на вулканах Гавайских островов изучал Лойтман-Грин. Позднее, в 1912 г., там была основана обсерватория.

Систематические наблюдения вулканических явлений дали возможность установить совпадение активности вулканов с фазами Луны и деятельностью Солнца. Так, английский врач Форстер в 1834 г. отметил, что извержения Везувия и Этны случаются чаще всего в связи с новолуниями, а Фальб в 1869—1879 гг. указал, что на активность вулканов действуют притяжение Луны и Солнца.

Во второй половине XIX в. в России у многих исследователей наблюдается стремление к развитию теории вулканизма. Русские исследователи вели наблюдения и тщательно описывали различные проявления деятельности вулканов. Так, К. Дитмар в 1854—1855 гг. наблюдал, описывал извержения вулканов Камчатки и нашел подземную связь между вулканами Ключевским и Шевелучем во время извержения. В. Лапшин (1866) предпринял поездку в Грецию и наблюдал извержение на о. Санторин. П. Дорошин (1869) описывал вулканы на Аляске, А. А. Иностранцев (1879) вел детальные наблюдения на кратере Везувия. К. И. Богданович (Bogdanowitsch, 1904) в 1897—1898 гг. предпринял длительную экспедицию на Камчатку, где проводил систематические наблюдения над вулканической активностью, изучая также геологическое строение Камчатки. В своих теоретических представлениях он становится на позиции А. Штюбеля по вопросам о вулкане Шевелуче и других, периферическом очаге извержений и групповом расположении вулканов.

Следует отметить, что русские исследователи конца XIX — начала XX в. в своих трудах, переводах и комментариях широко популяризовали и развивали учение о вулканах. Г. Лебедев (1876), С. Г. Лапченко (1876), А. П. Орлов (1885), Г. Кремер (1896) и другие реферировали и переводили многие работы зарубежных авторов в связи с обсуждением теоретических проблем вулканологии, в частности гипотезы Маллета (1873 г.).

Таким образом, на основе широких наблюдений вулканов всего мира и детальных исследований их на протяжении XIX в. формировались представления о деталях извержений и формирования вулканов, о типах извержений, о химическом составе газов, паров воды и лав, о приуроченности вулканов к берегам Тихого и Индийского океанов. На смену представлениям древних натуралистов об активных силах — ветре или воздухе, движущихся в подземных пустотах и раздувающих огонь, а позднее о подземных, морских и поверхностных водах — приходят новые методы качественного, а затем и количественного определения состава вулканических извержений. Состав газов и паров воды изучался в зависимости от стадии вулканической активности, анализировалось влияние их на состояние и активность лавы и деятельность вулкана в целом. На основе накопленных знаний вырабатывались гипотетические представления о механизме извержений не в связи с возгоранием веществ, а в неразрывной связи с химическими реакциями и участием

газов и паров воды, с тектоническими процессами, с огненно-жидким раскаленным веществом, испытывающим охлаждение и последующий подъем и извержение. Наконец, становится очевидным, что на вулканические извержения оказывают влияние не только земные силы, но и космические тела — Луна и Солнце.

ПЕТРОГРАФИЯ

Самым замечательным в развитии петрографии второй половины XIX в. было введение микроскопического метода. В исследовании горных пород до этого времени микроскоп находил себе применение только при изучении осадочных пород и углей. После того как в 1828 г. английский физик У. Николь изобрел поляризационную призму, называемую теперь «призма Николя», появилась возможность изучать кристаллооптические свойства минералов. Вскоре после этого призма Николя была вмонтирована в микроскоп, что позволило изучать горные породы и их составляющие минералы в прозрачных шлифах, которые впервые изготовил англичанин Г. Сорби. Первоначально Г. Сорби исследовал в поляризованном свете шлифы юрского известковистого песчаника, а затем — массивно-кристаллических пород. Он показал, что изучение под микроскопом в шлифах структуры горных пород способствует выяснению происхождения минералов и горных пород в целом.

Работой Г. Сорби (Sorby, 1858) началось развитие микроскопической петрографии. Эта книга и сама методика изучения тонких и прозрачных срезов горных пород в поляризованном свете под микроскопом привлекли к себе внимание геологов многих стран. В 60-х годах изучением горных пород под микроскопом занялись Ф. Циркель, Фогельзанг и Г. Розенбуш в 1873 г. в Германии, А. А. Иностранцев и Вл. Блюмель в 1867 г. и А. П. Карпинский в 1869 г. в России, а также ряд ученых других стран.

Ф. Циркель изготовил большое число прозрачных шлифов разных горных пород из различных частей света. Изучая их, он обратил внимание на мелкие включения, содержащиеся в них. Полученные им данные послужили основанием для новых представлений о происхождении горных пород. Выход в свет в 1866 г. в Германии классической работы Ф. Циркеля о базальтах был поворотным моментом в петрографии, воочию показавшим всю важность микроскопа в исследовании горных пород.

В последующие годы наступило бурное увлечение микроскопической петрографией, что привело к быстрому накоплению огромного фактического материала о минералогическом составе и структуре горных пород. Появилась фундаментальная книга Ф. Циркеля (Zirkel, 1893—1894), а затем первый и второй тома крупной сводной работы «Микроскопической физиографии» Г. Розенбуша (Rosenbusch, 1873).

Значительным усовершенствованием метода микроскопических исследований явилось изобретение Е. С. Федорова в 1889 г. двукружкового гониометра и специального приспособления к микроскопу, известного теперь во всем мире под названием «федоровского столика», или универсального столика. Это усовершенствование дало возможность с большой точностью определять сложные породообразующие минералы. Разработанная Е. С. Федоровым новая методика коренным образом изменила приемы изучения кристаллов и способствовала быстрому развитию минералогических и петрографических исследований.

Описание Е. С. Федоровым (1893) универсального теодолитного метода было переведено во многих странах. Федоровский столик стал важной принадлежностью микроскопа при точных исследованиях мелких минералов, заключенных в горных породах.

Австрийский минералог Ф. И. Бекке на рубеже XIX и XX вв. ввел в петрографию иммерсионный метод. Он погружал мелкие обломки минералов в жидкости с различными показателями преломления и установил, что светлая полоска (называемая «полоской Бекке»), возникающая на границе минерала и жидкости, передвигается при опускании тубуса в сторону вещества с меньшим показателем светопреломления, а при поднятии — в обратную сторону. В дальнейшем иммерсионный метод был усовершенствован и приобрел важное значение.

Изучение с помощью микроскопа горных пород, их структуры и минералогического состава повлекло за собой усовершенствование микроскопа, введения новых кристаллооптических методов и приборов. Появились успехи в области определения породообразующих минералов, в первую очередь полевых шпатов, а позднее — пироксенов, оливинов, слюд и др. Новые данные, накопившиеся в результате микроскопических исследований, привели к пересмотру прежних представлений о роли породообразующих минералов в горных породах, а также к новым классификациям горных пород; и в конце 70-х годов появилась классификация Г. Розенбуша, в которой уже учитывались минералогический состав и структура горных пород.

Микрофизиография горных пород развивалась и совершенствовалась также в направлении установления количественных взаимоотношений между составными частями горных пород и в первую очередь изверженных. Впервые оно было подчеркнуто в докладе русской петрографической комиссии (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг), представленном в 1899 г. Международной петрографической комиссии и доложенном в 1900 г. на VIII сессии Международного геологического конгресса в Париже.

Классификация горных пород. В первые 25—30 лет развития микроскопической петрографии господствовали структурно-минералогические классификации, разработанные Ф. Циркелем в 1866 г., Г. Розенбушем в 1873 г., А. Мишель-Леви и Ф. А. Фуке (Michel-Lévy, Fouqué, 1879). В последующие годы в классификациях все большее значение придавалось химическому составу пород. В 1897 г. на VII сессии Международного геологического конгресса решительным сторонником химической классификации выступил Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Противником химической классификации был Ф. А. Фуке.

Еще в «домикроскопической» петрографии самым крупным достижением было применение Г. Коканом в 1857 г. генетического принципа. Он разделял все породы на изверженные, осадочные и метаморфические, а изверженные в свою очередь на гранитовые, порфировые и вулканические. Однако Г. Кокан непосредственного воздействия на развитие классификации не оказал. Зато под влиянием немецких ученых — К. Лоссена (Lossen, 1883), Г. Розенбуша (Rosenbusch, 1873), а также французских петрографов Ф. А. Фуке и А. Мишель-Леви все изверженные породы были выделены в самостоятельную группу, что получило окончательное признание со стороны большинства петрографов.

Общие классификации горных пород предлагались Ф. Ю. Левинсон-Лессингом в 1887 г. и немецким ученым И. Вальтером. Позднее классификация, предложенная Левинсон-Лессингом в 1893—1897 гг. характеризовалась тем, что в ней выдвигался принцип деления осадочных пород на первичные, вторичные и третичные (регенерированные).

Весьма примечательно, что американский исследователь В. Кросс (Cross, 1903) считал, что естественная классификация изверженных пород невозможна, и поэтому не следует стремиться к единой классификации, а можно лишь дать систематическую (т. е. искусственную) и петрографическую классификацию и отдельно от нее петрологическую (геологическую).

Химическое направление в петрографии. Усиленное изучение химического состава горных пород дало возможность выделить немецкому исследователю Р. Бунзену (Bunsen, 1851) магмы различного состава, французу Ж. М. Дюроше (Durocher, 1857) ввести понятие о ликвации магмы и, наконец, английским ученым Г. Пулетт-Скропу (1825) и Ч. Дарвину (Darvin, 1844) разработать гипотезу кристаллизационной дифференциации.

Однако правильное и широкое применение химической характеристики изверженных пород стало возможным лишь после введения микроскопа и накопления достаточного и хорошо микроскопически исследованного материала. Между первым периодом химической петрографии, названным Левинсон-Лессингом (1950, стр. 62) периодом анализов, и последним периодом — химической классификации и учения о дифференциации магмы лежит промежуточный период, непродолжительный и представленный только работой Э. Рейера (Reyer, 1877), давшей важные результаты. Этот промежуточный период назван химико-минералогическим потому, что химические анализы пород производились для выяснения минералогического состава и нахождения последовательности в порядке кристаллизации и отчасти в сочетаниях минералов.

На первых порах микроскопическая физиография оттеснила химическое направление и даже заслонила его, но не надолго.

В упомянутой работе Э. Рейера некоторые вопросы химической петрографии изверженных пород рассматриваются в тесной связи с проблемами вулканологии. Хотя его работа появилась в период расцвета микроскопической петрографии, когда проблемы химической петрографии отошли на задний план, в ней есть много оригинального и заслуживающего внимания.

Э. Рейер старался минералогический состав связать с химическим составом и дать картину условий существования тех или иных минералов в породе (например, приуроченность кварца к кислым породам и т. п.). В его работе впервые представлены графики для иллюстрации выводимых им соотношений и дана цифровая характеристика среднего состава главнейших типов изверженных пород и отклонений от среднего состава. Он считал, что основой классификации изверженных пород должен быть химический состав, выразителем которого является минералогический состав; и классификационным признаком ни в коем случае не может служить геологический возраст. Таким образом, он был противником геологического направления в вопросах классификации горных пород.

С 1890 г. начался период химической петрографии, разработки химической классификации горных пород и учения о дифференциации магмы. В том же году появились работы норвежского петрографа В. К. Брёггера о минералах сиенитовых пегматитов южной Норвегии, статья Г. Розенбуша о химических особенностях изверженных пород и статья Ф. Ю. Левинсон-Лессинга о химической классификации изверженных пород.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг дал характеристику понятия кислых, основных (и ультраосновных) и средних пород в зависимости от насыщенности их кремнекислотой. В этом он имел предшественников, ибо понятие о кислотности изверженных пород было введено еще Г. Абихом в 1841 г.; термины «основные» и «кислые» породы впервые ввел француз Эли де Бомон в 1847 г.; деление пород на кислые, средние и основные встречается у Ж. М. Дюроше (Durocher, 1857). Затем кислые и основные породы Р. Бунзен (Bunsen, 1851) связывает с нормально-трахитовой и нормально-пироксеновой магмами. Указания на ультраосновные породы имелись еще у Т. Кьерульфа в работах 1825 г. и 1857 г. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг независимо от него пришел к необходимости выделения ультраосновных пород.

В этот период были сделаны сводки химических анализов, рассеянных по разным монографиям и журналам. Первая работа по обобщению химических анализов горных пород принадлежит И. Роту (1861), затем А. Озанну (Osann, 1905), который дал сводку анализов, сделанных в 1884—1900 гг.

Большой интерес представлял вопрос о распространении химических элементов в земной коре, организмах и метеоритах. Впервые Эли де Бомон в 1847 г. затронул этот вопрос, выясняя их содержание в горных породах, правда, лишь качественно, без количественных характеристик.

Проблемы петрографических формаций и провинций. Термин «формация» был введен в петрографию в 1877 г., когда немецкий геолог Э. Рейер (Reyer, 1877) выделял порфировую формацию. Он применял этот термин для обозначения собирательного типа пород — например порфировая, мелафировая формация, а не для обозначения генетически-стратиграфической единицы.

Английский геолог Дж. Джедд (Judd, 1876) обратил внимание на географические области, отличающиеся некоторой общностью минералогического состава и химизма горных пород, которые он назвал «петрографическими провинциями», как, например, провинции Гебридских и Фарерских островов в Атлантическом океане. Американский ученый Д. П. Иддингс в 1886 г. говорил о «кровном родстве» горных пород, а В. Брёггер в 1890 г.— об отдельных группах пород из провинции Христиании.

В 1888 г. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг в результате изучения олонецкой диабазовой серии пород ввел и обосновал понятие о «петрографических формациях», что отличается от «петрографических провинций» Джедда большей связью с геологическими факторами и меньшей ролью географического признака.

Начиная с основополагающих работ Джедда и Левинсон-Лессинга, в петрографии наблюдается одновременное развитие понятий петрографической провинции и петрографической формации.

Вскоре были выделены провинции: Тихоокеанская и Атлантическая (Ф. Бекке), Средиземноморская (П. Ниггли) и Бореальная (В. Вольф и К. Д. Хрущев). Однако некоторые исследователи были резкими противниками выделения этих провинций. К ним относились А. Лакруа во Франции, Левинсон-Лессинг в России, Г. Е. Грегори в Англии и Г. Вашингтон в Америке.

Понятия о петрографических формациях, или петрографических районах, по Д. Тиррелю, семействах изверженных пород по В. Гольдшмидту, ассоциациях горных пород по Н. Боуэну, отличавшиеся конкретностью и учитывавшие территориальные соотношения и возраст горных пород, а также геологические условия образования, оказались более плодотворными для петрографии.

В России идея о петрографических формациях развивалась в работах Левинсон-Лессинга, о формациях горных пород на Кавказе писал в 1895 г. В. Е. Тарасенко, о габбро-сиенитовой формации на Украине — К. Д. Хрущев (1891 г.).

Это направление в петрографии подготовило значительный расцвет в XX в. учения о формациях.

Природа магмы и законы ее кристаллизации. Весьма важным был вопрос о происхождении горных пород из одной, двух или многих магм. Этими вопросами в это время занимались (и по-разному решали его) многие исследователи: Котта, Грин, Дюроше, Бунзен, Рейер, Розенбуш, Мишель-Леви, А. Е. Лагорио, А. П. Карпинский, Е. С. Федоров, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и др.

Мысль о единой родоначальной базальтовой магме была высказана еще Б. Котта (Cotta, 1858) и В. Грином (1887), которые для объяснения разнооб-

разия пород допускали ассимиляцию вышележащих кислых изверженных и осадочных пород.

В то же время было выдвинуто другое представление о родоначальных магмах. В частности, Ж. М. Дюроше (Durocher, 1857) признавал существование двух магм: первого порядка (первоначально жидкое ядро) и производных магм второго порядка (отдельные магматические бассейны); а Р. Бунзен (1861 г.) говорил о нормально-трахитовой и нормально-пироксеновой магмах.

Известно еще мнение Э. Рейера (Reyer, 1877) о кислой и основной магмах, находящихся в смешении и дающих промежуточные типы, хотя и весьма разнообразные и важные, но в количественном отношении играющие незначительную роль. Г. Розенбуш говорил о фойяито-тералитовой и гранодиорито-перидотитовой, а Мишель-Леви о щелочной и магнезиальной магмах.

Немаловажную роль в изучении вопроса о двух магмах сыграли исследования русских ученых — А. Е. Лагорио, А. П. Карпинского, Е. С. Федорова и особенно Ф. Ю. Левинсон-Лессинга.

Важным в истории петрографии было формирование представлений о физико-химической природе магмы. Впервые магму начали считать раствором Дюроше в 1857 г., затем в 1861 г. Р. Бунзен. Позднее развивали и обосновывали эти представления И. Фогт и русские петрографы А. Е. Лагорио и Ф. Ю. Левинсон-Лессинг.

Родоначальником учения о кристаллизационной дифференциации, в частности о гравитационной сортировке кристаллов, был английский геолог и биолог Ч. Дарвин (Darvin, 1844). Первые представления о магматической дифференциации были у Г. Пулетт-Скропа (Poullet-Scrope, 1872) и в особенности у Д. Дэна (Dana, 1849).

Дифференциация признавалась важным фактором образования изверженных пород из магмы, однако одни исследователи принимали кристаллизационную дифференциацию (Харкер, Лагорио), другие (Фогт, Бреггер, Левинсон-Лессинг) — магматическую, т. е. в жидком виде. Одни считали, что весь процесс превращения магмы в изверженные породы заключался в расщеплении ее (Дюроше, Левинсон-Лессинг), другие важное значение придавали ассимиляции и вплавлению (Левинсон-Лессинг, Лакруа). Проблема магмы приобрела большое значение к концу XIX в.

Метаморфизм. Систематизация всех материалов по контактовому метаморфизму и разграничение этого типа метаморфизма и регионального метаморфизма были проведены в период с 1845 по 1862 г. тремя французскими геологами — Ж. Дюроше, Е. Делессом и А. Добре, а в России — П. Усовым. Ж. Дюроше (Durocher, 1845—1846) различал метаморфизм на контакте с изверженными породами и метаморфизм, производимый действием из недр Земли, т. е. региональный метаморфизм. Е. Делесс различал и рассматривал отдельно контактовый и региональный метаморфизм. А. Добре (Doubree, 1860) подразделял метаморфизм на контактовый, региональный и структурный; последний тип относился к образованию вторичной сланцеватости и сопровождающим ее механическим деформациям в связи с давлением (впоследствии назван дислокационным метаморфизмом).

Важным этапом в истории петрографии было исследование Г. Розенбушем контактного воздействия гранитов на глинистые сланцы в Вогезах (Германия). Г. Розенбуш установил тип термального контактного действия без привноса материала (контактные роговики и пятнистые сланцы). Он признал этот тип метаморфизма универсальным и недооценил другие типы метаморфизма с привносом материала (скарны и др.).

Весьма существенными являются наблюдения в 80-х годах Барруа над контактами гранитов в Бретании. Отсюда ведет свое начало учение о фельд-

шпатизации и об инъекционном метаморфизме, разработанное А. Мишель-Леви, Л. Дюпарком, Л. Мразеком, Я. И. Седергольмом и другими. Интересные и важные данные о контактных явлениях, сопровождавшихся сплавлением и ассимиляцией, дал А. Лакруа в 1900 г. для Пиренеев.

Таким образом, во второй половине XIX в. учение о метаморфизме разрабатывалось в направлении установления типов метаморфизма и развития его теоретических основ.

Экспериментальные работы. После начального периода экспериментов в XVIII в. наступил длительный перерыв, если не считать отдельных изолированных опытов Ф. А. Фуке и А. Мишель-Леви в конце XIX в. Большое значение имели и успехи физической химии, достижения которой использовались в постановке экспериментальных работ.

Примером последовательного систематического проведения экспериментов с целью всестороннего освещения происхождения группы горных пород являлись многочисленные работы Вант-Гоффа и его сотрудников над кристаллизацией растворов морской воды в условиях разных температур при установлении генезиса и ассоциации солей в соляных месторождениях типа Страсфуртского (80—90-е годы).

Большое значение имели опыты Ф. А. Фуке и А. Мишель-Леви (Fouque, A. Michel Levy, 1882), которым впервые удалось получить в лаборатории отдельные породообразующие минералы и некоторые горные породы путем так называемого сухого плавления без минерализаторов. Однако опыты были лишь качественного, а не количественного характера.

Русский экспериментатор, поляк по происхождению, И. А. Морозевич в 90-х годах производил синтез минералов с участием минерализаторов вольфрамовой кислоты. В результате были получены объекты больших размеров, изучено влияние химического состава расплава на выделяющиеся минералы.

Значительный шаг вперед в области изучения кристаллизации расплавов был сделан французским физико-химиком А. Л. Лешателье, применившим для определения высоких температур платиновую термопару, вытеснившую прежние оптические и другие пирометры. Первым из русских ученых с пирометром Лешателье работал в лаборатории Фуке в Париже В. И. Вернадский ((1891). Он изучил условия превращения полиморфных модификаций в силлиманите, искусственно воспроизвел последний и впервые высказал в категорической форме положение, что полимофизм является общим свойством материи.

В области изучения перекристаллизации, диссоциации, дегидратизации и полиморфных превращений было много сделано различными исследователями. Сюда относятся работы И. И. Лемберга о полимофных превращениях при прокаливании минералов, П. А. Земятченского (1896 г.) о каолине, К. Д. Хрущева (1882, 1886 гг.) о стекловатых включениях в минералах горных пород неогненного происхождения (ксенолитах песчаников, сланцев и т. п.) и в интрузивных породах.

По кристаллизации растворов классическими являются исследования Я. Г. Вант-Гоффа по кристаллизации солей, А. Добре по кристаллизации водных растворов под давлением и Этлинга (1897 г.), указавшего на незначительную роль давления. А. Добре и К. Д. Хрущев осуществили кристаллизацию водных растворов под давлением.

Гидрохимические превращения горных пород и минералов производились И. И. Лембергом (1872—1888 гг.) при изучении у Предаццо контактов известковых и щелочных силикатов, а также превращения силикатов (лейцита в анальцим и обратно и др.) при 200—250°; он выдвинул значение закона масс. Ценные дополнения к опытам Лемберга дали кристаллооптические исследования русского ученого А. Е. Лагорио (1895 г.), показавшие, что

в объектах И. И. Лемберга имеются минералы, а не аморфные аналогичные им соединения или полиморфные модификации. Необходимо отметить также работы С. И. Тугутта (1891 г.) по усовершенствованию аппаратуры и его опыты, которые по сравнению с работами Лемберга представляют шаг вперед, ибо он анализировал не только исходный материал и новообразования, но и раствор и подошел к суждению о химической конструкции испытываемых минералов. Интересны его работы по получению ряда содалитов, установление гидрохимического разложения минералов и констатация того, что часть глинозема отщепляется и переходит в раствор в виде алюмината. Следует отметить также работы А. А. Иностранцева (1872), проводившего опыты доломитизации в запаянных трубках. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1898 г.) в платиновой бутылке в течение четырех лет наблюдал действие на пирофиллит углекислого калия и углекислого натрия. Действие водяных паров и газов на расплавленные силикатные массы, сопровождавшиеся гидратизацией, изучалось И. А. Морозевичем и Ф. Ю. Левинсон-Лессингом.

Серию опытов гидрохимического превращения или получения силикатов провел К. Д. Глинка в 1899 г. Он сделал заключение, что цеолитная теория поглотительной способности почв, выведенная из опытов Лемберга, требует дополнений.

Исследования по деформации горных пород под влиянием давления проводились А. А. Иностранцевым (1891 г.).

Нельзя не упомянуть об экспериментах французских исследователей Дозера и Лонгиамбона, наблюдавших образование «отдельности и сланцеватости», а также американского ученого Д. Иддингса, получившего столбчатую отдельность в результате сокращения объема при охлаждении расплавленного базальта.

Изучение сланцеватости проводилось в Америке Д. Шарпе (1847, 1848 гг.) и Д. Тиндаллем (1856 г.), во Франции — А. Добре и др.

Таким образом, экспериментальные работы в петрографии во второй половине XIX в. имели исключительно важное значение и подготовили почву для успешного развития эксперимента в дальнейшем.

МИНЕРАЛОГИЯ

В минералогии, вступившей в начале XIX в. в химический период своего развития, во второй половине века с еще большей интенсивностью и точностью продолжалось изучение химического состава минералов с помощью уже лучше разработанных и более совершенных аналитических методов. При этом весьма существенным теоретическим и практическим подспорьем в такой работе явился открытый в 1869 г. Д. И. Менделеевым периодический закон химических элементов, логически завершивший атомно-молекулярную теорию и поставивший неорганическую химию на прочное основание. Он сразу же позволил уточнить величины ранее принятых атомных весов элементов, исправить ошибочные значения валентности некоторых из них и привести в надлежащий вид химические формулы минералов.

Аналитической работой, сильно расширившей точные сведения о химизме минералов, занимались во второй половине XIX в. многие выдающиеся химики и минералоги. Наряду с такими опытными мастерами анализа, как В. Гайдингер, В. Ф. Кобелль, К. Ф. Раммельсберг и Ж. Ш. Мариньяк, появились новые имена — А. Вюрц, Н. Г. Норденшельд, А. Вейсбах, Г. Чермак и многие другие. В России в этот период активно работали Н. И. Кокшаров, А. Б. Кеммерер, Н. А. Иванов, Н. И. Лавров, Д. И. Менделеев, В. В. Бек, Ф. Н. Савченков и И. А. Тютчев.

К концу XIX в. общее число открытых и изученных минералов (среди которых еще частично сохранялись скрытокристаллические породы, вулканические стекла и каустобиолиты) возросло примерно на 200 видов, т. е. в полтора раза по сравнению с 1850 г. Особенно сильно увеличилось число минеральных видов в классе силикатов, изучению которых во второй половине XIX в. минералогами и химиками было уделено много внимания. Детальный анализ минералов привел к открытию 20 новых химических элементов: Rb, Cs, Cd, Ra, Sc, Ga, In, Tl, Ac, Ge, F, Po и редкоземельных Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Tu и Yb.

Следует подчеркнуть, что значительная роль в открытии новых минералов и во всестороннем их исследовании принадлежит также тем минералогам, которые, продолжая работы начала XIX в. по топографической минералогии, не ограничивались приведением лишь перечня минералов и указанием парагенетических ассоциаций, но стремились детально изучить и описать их. Особенно широко регионально-минералогические исследования распространялись в этот период в Германии, Австрии и Швейцарии. К числу наиболее важных работ относятся «Справочник по минералам Англии и Ирландии» У.Г. Летсома (1858 г.), пятитомная «Минералогия Франции и ее колоний» А. Лакруа (Lacrois, 1893—1913), «Минералы Испании» С.Кальдерона (1908 г.), «Минералы Японии» Т. Вада (1904 г.), а также меньшие по объему работы — «Минералы Нового Южного Уэллса» А. Ливерсиджа (1874), «Минералы Перу» А. Раймонди (1878 г.), «Минералы Гренландии» О. Б. Бёггильда (1905 г.) и др. Большое количество ценного описательного материала по минералогии США и Канады содержалось в пятом и шестом изданиях «Системы минералогии» Д. Дэна, особенно в многочисленных дополнениях к ним (Dana, 1868—1892).

Особое место в топографической минералогии занимал одиннадцатитомный труд «Материалы для минералогии России» Н. И. Кокшарова (1853—1891). Помимо общей и химической характеристики минералов, в нем приведены точные данные по угловым величинам около 300 природных кристаллов, которые вошли богатым фактическим материалом в фонд минералогической кристаллографии и по существу подготовили почву для первых кристаллохимических обобщений.

Обилие фактического материала по химическому анализу, кристаллографии и свойствам минералов потребовало тщательного его сбора и обобщения, так что наряду с обычными учебниками минералогии появились сводки-справочники. Важнейшими из них были «Справочник минеральной химии» и «Справочник по кристаллографофизической химии» К. Ф. Раммельсберга и «Система минералогии» Д. Дэна, которая вслед за первым выпуском в 1837 г. до конца XIX в. переиздавалась шесть раз, сопровождаясь различными дополнениями. Позже стали выходить два капитальных издания — шеститомный «Справочник по минералогии» К. Хинце, первый том которого был выпущен в 1898 г., а шестой— в 1939 г., и четырехтомное издание — «Справочник по минеральной химии» К. Дёльтера. Эти справочники содержат все важнейшие сведения о минералах, добытые более чем за столетие, и фактически отражают в обобщенном виде итоги деятельности минералогов в течение химического периода ее развития.

Большое значение для развития теоретических и генетических представлений минералогии имели также широко развернувшиеся во второй половине XIX в. работы по синтезу минералов. Эти работы ставили своей целью такие задачи, как выяснение способа образования минералов в природе, изучение влияния условий кристаллизации на форму минералов и на последовательность их выделения из расплава, выяснение химического состава минералов, изоморфных замещений в них элементов и характера химиче-

ского изменения минералов, а также получение хорошо окристаллизованных индивидов уже известных минералов или пока еще не обнаруженных в природе соединений для точного изучения их свойств, формы и для заполнения пропусков в классификации. В области синтеза минералов в этот период работало свыше 150 ученых, из числа которых упомянем лишь самых главных, оставивших существенный вклад в науке. Первыми являются работы А. Сенармона, С. Н. Манроса, А. Добре и А. Э. Сент-Клер Девиля, которые получили много разных искусственных минералов при сухих, мокрых и газообразных реакциях. Реакция образования касситерита взаимодействием паров хлорида олова и воды, осуществленная А. Добре, позволила выдвинуть идею о распространении пневматолитового процесса минералообразования (Fuchs, 1872; Чирвинский, 1903—1906). Синтез минералов в условиях, близких к природным, в 1870—1890-х годах был поставлен в многолетних опытах французских экспериментаторов—Л. Бурже, А. Горге и П. Г. Отфейля, особенно немецкого минералога К. Дёльтера и финского ученого А. Б. Шультена, которые получили разными путями многие минералы, в том числе и простейшие силикаты. Ж. Марготе (1877 г.), Э. Вайншенк (1890 г.) и Г. Зоммерланд (1897 г.) изучали синтез простых и сложных сульфидов сплавлением и в растворах. А. Муассан и К. Д. Хрущев работали одновременно над получением искусственного алмаза, а Я. Г. Вант-Гофф (1897—1904 гг) — над кристаллизацией из водных растворов простых и двойных водных хлоридов и сульфатов. Последний установил ряд существенных закономерностей минералообразования в морских бассейнах, которые можно обобщить следующим образом: порядок выделения всех солей является обратным их растворимости, причем образование каждой из них зависит от температуры и концентрации.

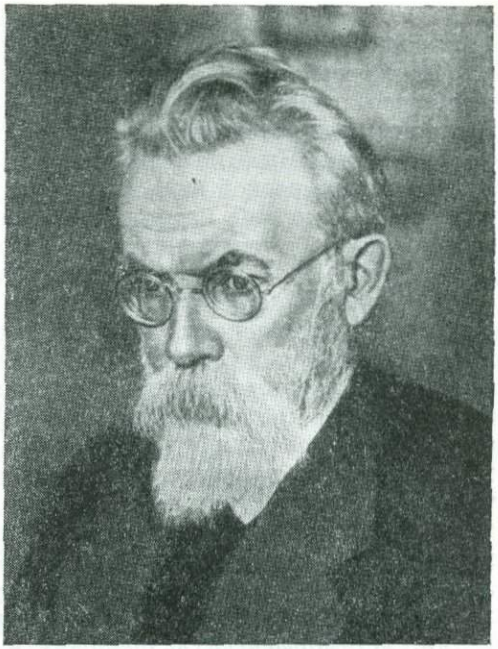
Однако несомненно, что еще более важными были эксперименты, посвященные изучению силикатов. Начало точных работ (1876—1888 гг.) по превращению силикатов положил русский минералог И. И. Лемберг. Действуя на различные силикаты растворами NaCl, KCl, Na_2CO_3 и другими при умеренной температуре, он получал либо родственные силикаты (лейцит из анальцима и наоборот), либо новые минералы (канкринит из каолинита, содалит из нефелина и т. п.). Дальнейшие работы в этой области были осуществлены во Франции Ш. Фриделем (1890—1891 гг.), а в России — А. Е. Лагорио (1890—1895 гг.), С. И. Тугуттом (1891—1900 гг.), П. А. Земятченским (1896 г.) и К. Д. Глинкой (1899 г.). С. И. Тугутт (1894) при изучении продуктов реакции гидронефелина одним из первых пришел к выводу, что в нефелине, как и в образующейся из него слюде, треть глинозема связана в их составе иначе, чем остальные две трети.

Другое направление в экспериментальном изучении силикатов началось с работ Ф. А. Фуке и А. Мишель-Леви (1878—1891 гг.), моделировавших условия магматических температур. В России это направление развивали И. А. Морозевич (1891—1898 гг.) и В. И. Вернадский. В отличие от французских исследователей И. А. Морозевич употреблял большие количества исходных веществ, что позволило ему пойти дальше и получаемые минералы изучить также химически. В. И. Вернадский (1891) доказал исключительную устойчивость силлиманита при высоких температурах и подтвердил это распадом при нагревании многих силикатов алюминия с выделением силлиманита. Следует добавить, что работы норвежца И. Фогта (1888—1903 гг.) над минеральным составом шлаков дали возможность выяснить, какую роль концентрация компонентов в расплавах играет в составе и последовательности выделения минералов.

В целом, исследования по синтезу минералов предоставили очень важный фактический материал для построения теории химической конституции

минералов вообще и силикатов в особенности. Более строгий и точный физико-химический анализ минеральных систем, выросший на почве этих экспериментальных работ, принес свои плоды минералогии уже в XX столетии.

В общем развитии познания химической сущности минералов во второй половине XIX в. можно выделить две наиболее важные проблемы, которые тогда сильно занимали минералогов, проблема изоморфного замещения элементов в минералах и проблема химического строения силикатов.



В. И. Вернадский

Проблема изоморфного замещения элементов в минералах получила развитие, во-первых, в силу широкой распространенности этого явления, установленного многочисленными химическими, а начиная с 60-х годов еще и спектральными анализами и, во-вторых, благодаря противоречиям в толковании этого явления, природу которого еще только начинали понимать. При этом следует принять во внимание, что распространившиеся (вместо атомных) молекулярные представления в химии и минералогии заметно затормозили решение этой проблемы, в котором участвовали почти все крупнейшие минералоги второй половины XIX в.

Первоначальный вывод Э. Митчерлиха о полной аналогии состава изоморфных соединений (что выражается в близости кристаллографических форм) вскоре был подвергнут сомнению и критике. Так, Ж. Ш. Мариньяк в Швейцарии, Р. Ф. Герман в России и Т. Шерер в Германии в 60-х годах доказали, что изоморфные смеси могут давать также соединения не аналогичного, а различного химического состава (Hermann, 1860). Изоморфизм такого рода получил название полимерного (гетеромерного — по Р. Герману). Это направление было развито дальше в работах Д. И. Менделеева, Г. Чермака, П. Грота, Я. В. Ретгерса и др. Напротив, армянский минералог А. Е. Арцруни считал, как и Митчерлих, необходимой полную аналогию элементов, т. е. принимал лишь изовалентный изоморфизм, что нашло отражение в его изоморфных рядах элементов (Arzruni, 1893).

Идея гетеровалентного изоморфизма оказалась более продуктивной (хотя ее защитники держались молекулярных взглядов) и позволили Г. Чермаку успешно разобраться в химизме важнейших силикатов и алюмосиликатов и на этой основе предложить теорию плагиоклазов в виде изоморфных смесей натриевого и кальциевого полевых шпатов (Tschermak, 1878). Тем не менее на почве молекулярных представлений о строении вещества природа изоморфизма не могла быть удовлетворительно объяснена. К тому же терминология в этой области совершенно неоправданно усложнилась. В 1890 г. Я. Г. Вант-Гофф, увлекшись идеей полной аналогии изоморфных смесей с жидкими растворами, назвал первые термином «твердые растворы». В 1891 г. Г. В. Розебом, на основе физико-химического представления о фазах предло-

жил для изоморфных смесей (также совершенно лишнее) наименование — «смешанные кристаллы», чем окончательно усложнил понимание вопроса.

Все же всестороннее изучение химизма, морфологии и физических свойств изоморфных соединений позволило к концу XIX в. установить некоторые закономерности этого важнейшего и наиболее общего свойства неорганической материи. Было выяснено, что: 1) степень смесимости возрастает с увеличением химической аналогии изоморфных веществ; 2) гранные углы и отношения параметров изоморфных кристаллов, так же как и все их физические свойства, с изменением состава непрерывно изменяются по закону аддитивности; 3) температура повышает степень изоморфной смесимости.

На основе накопившихся природных фактов и первых обобщений физико-химических исследований проблема изоморфизма в минералогии была в 1910 г. продумана более глубоко и изложена по-новому В. И. Вернадским, который вернулся к правильным представлениям Э. Митчерлиха об атомной природе этого явления. В. И. Вернадский (1910) выделил благородные газы, затем C, N, O и Be как элементы, не дающие изоморфных соединений, а все остальные поместил в таблицу, объединив их в 18 изоморфных рядов, благодаря чему эта таблица сразу же приобрела практическое значение для минералогов и химиков. Учитывая влияние, которое оказывает на изоморфизм среда минералообразования (в виде физико-химических факторов, времени и давления), он детализировал изоморфные ряды, выделив для каждого наиболее характерные термодинамические области существования — кору выветривания, метаморфическую оболочку и магматическую область. Эта таблица не потеряла своего значения и в XX столетии, хотя теория изоморфизма далеко шагнула вперед.

Проблема строения, или химической конституции, силикатов возникла в минералогии в качестве одной из главных благодаря сложности их состава и наибольшей распространенности в природе. Разумеется, решение этой задачи в период, когда атомное строение минералов экспериментально еще не было доказано и изучено, являлось практически невозможным. Но пытливая мысль ученых стремилась к познанию сущности минералов, прибегая для этого к косвенным методам и аналогиям. Такими косвенными методами для суждения о природе силикатов являлись природные наблюдения и экспериментальные данные над их образованием и разрушением, физические и химические их свойства, а также изучение изоморфных замещений и полиморфных превращений в силикатах. В качестве объектов для аналогии явились быстро развивавшаяся в этот период органическая химия со своими теоретическими представлениями и теория комплексных соединений со структурными формулами, основанными на валентности атомов.

Среди довольно многочисленных и противоречивых попыток построения единой теории химической конституции силикатов, в которой принимали участие многие ученые в конце XIX в., наметилось два главных и принципиально различных теоретических направления: 1) алюмоосновное, опирающееся на утверждение, что Al и все другие высоковалентные элементы выступают в качестве оснований, замещая в гипотетических кремневых кислотах водород; 2) алюмокислотное, основанное на признании за Al и его аналогами кислотной функции, при которой они выступают наравне с Si, образуя комплексные кислоты.

Первое направление развивалось К. Ф. Раммельсбергом (Rammelsberg, 1860, 1881—1882), Г. Чермаком (Tschermak, 1878), П. Гротом и их последователями. Они резко отделяли кремний по его структурной роли в силикатах от других электроположительных элементов и в достижении простоты, свойственной неорганическим соединениям, были вынуждены допустить существование множества гипотетических кремневых кислот.

Второе направление, выросшее отчасти из экспериментальных работ И. И. Лемберга и С. И. Тугутта, разрабатывалось В. И. Вернадским и французской минералогической школой. Представители этого направления полностью отождествляли по химической роли Si с Al, B, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ti и Zr, которые якобы образуют вместе с ним алюмокремневые и другие комплексные кислоты, а также ангидриды и галоидангидриды соответствующих кислот. В основе алюмосиликатов предполагалось наличие прочного каолинового ядра (подобного бензольному кольцу в органических соединениях).

Эти противоположные направления, несмотря на гипотетический характер их обоснования, несомненно, явились некоторым шагом вперед в области познания конституции силикатов. Ни одно из них, естественно, не было полностью верным, но, как показало рентгенометрическое изучение структур в дальнейшем, рациональные элементы заключались в обоих. Однако алюмокислотная теория оказалась более прогрессивной, и хотя каолиновое ядро в алюмосиликатах не было обнаружено, представления о кристаллохимической близости Al и B к кремнию (установленной теперь совершенно строго) оказали большую помощь в первых расшифровках структуры алюмо- и боросиликатов.

В состоянии таких коренных вопросов минералогии, как определение понятий «минерал», «минеральный вид» и «разновидность», «принцип классификации» и других, следует отметить в этот период не только малый прогресс, но и заметный разнобой. К минералам, несмотря на выделение петрографии и учения о полезных ископаемых в самостоятельные научные отрасли, все еще причислялись некоторые горные породы и вулканические стекла, все каустобиолиты и коллоиды, не только твердые тела, но и жидкие (а по Вернадскому также газообразные) продукты природных процессов. Отсюда понятия вида и разновидности также определялись неоднозначно или им вовсе не давались определения. Изоморфные соединения разделялись на виды произвольно, делением ряда на три или более (как в плагиоклазах) части. Помимо основных химических классификаций Д. Дэна и П. Грота, несколько расширившихся за счет пополнения новыми видами и детализации разделения, появилась отличная от них новая классификация В. И. Вернадского, в которой деление на классы проведено на основе химических функций соединений. Кроме того, были предложены также первые генетические классификации минералов, сначала в 1857 г. Г. Росси, а затем в 1899 г. А. Лаппараном, не имевшие, как вспомогательные (основанные на частных признаках), существенного значения в науке.

Большие успехи были достигнуты в области изучения свойств минералов, точность измерения которых значительно повысилась, а круг исследуемых свойств расширился. Особенно полно и детально были изучены оптические свойства минералов, чему способствовало усовершенствование поляризационного микроскопа (Э. Бертран, А. Лазо, К. Клейн, Ф. Бекке) и изобретение и освоение универсального оптического столика (Е. С. Федоров, В. В. Никитин). Вслед за установлением строгой связи между оптической индикатрисой и кристаллографическими осями минералов (В. Гайдингер, Ф. Нойман, Ф. Кобелль и др.) развернулись работы по их оптической характеристике и выяснению зависимости между оптическими свойствами и химическим составом, особенно важной для изоморфных соединений (М. Шустер, Э. Малляр, А. Мишель-Леви, Г. Н. Вырубов, Ф. Покельс и др.). Детальные микроскопические исследования породообразующих минералов, проведенные Г. Сорби, Ф. Циркелем, Г. Розенбушем и Э. Вайншенком, а в России А. А. Иностранцевым, А. П. Карпинским и Ф. Ю. Левинсон-Лессингом, раскрыли невиданные до сих пор возможности в изучении горных пород и способствовали окончательному выделению из минералогии новой науки — петрографии.

Продолжалось изучение твердости минералов при помощи склерометров (Ф. Экснер, Ф. Пфаф, В. Пёшль), методами вдавливания (А. Ауербах, И. Бринель) и шлифования (А. Розиваль). Начались также исследования теплопроводности кристаллов (Д. Франц), пироэлектричества (В. Томсон), пьезоэлектричества (П. Кюри), упругих свойств (Ф. Нойман, В. Фойгт), удельного веса (И. Ритгерс) и температуры плавления (Ф. В. Кюстер). Сводку всех свойств природных и синтетических кристаллов в связи с их симметрией дали в 1897 г. П. Грот, а в 1910 г. В. Фойгт.

Кристаллографическое направление в минералогии во второй половине XIX в. продолжало бурно развиваться и заключалось главным образом в точном гониометрическом измерении природных кристаллов, обычно в связи с монографическим описанием минералогии различных стран.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Во второй половине XIX в. продолжались работы в области теоретической кристаллографии. Согласно мнению немецкого ученого Л. Зонке, кристалл является такой правильной системой, в которой вокруг каждой элементарной частицы остальные частицы расположены так же, как и вокруг любой другой элементарной частицы. Для описания таких бесконечных систем пришлось ввести понятие о новых элементах симметрии — винтовых осях, невозможных для конечных фигур. Однако Л. Зонке в своих выводах ограничился лишь простыми и винтовыми осями, оставив в стороне плоскости симметрии и плоскости скользящего отражения. В результате такого подхода он вывел 65 пространственных групп, характеризующих симметрию бесконечно протяженных кристаллических структур.

Окончательное завершение геометрической теории, выводящей всего 230 пространственных групп с учетом не только всех осей (простых, инверсионных, винтовых), но и плоскостей симметрии и плоскостей скользящего отражения, было достигнуто в трудах русского ученого Е. С. Федорова в 1890 г. и немецкого ученого А. Шенфлиса в 1891 г.

Великий русский кристаллограф Е. С. Федоров по складу ума был ярко выраженным геометром. Через всю его жизнь красной нитью проходит страстное увлечение геометрией. Недаром среди его колоссального научно-литературного наследия, превышающего 400 печатных трудов, на втором месте после кристаллографии (свыше 180 работ) стоит геометрия (около 130 работ).

Несмотря на всю многогранность научного творчества Е. С. Федорова, во всех его трудах по кристаллографии, минералогии, петрографии, химии, геологии и горному делу — всюду мы находим один и тот же основной его принцип, выраженный следующими словами: «Человек... доходит до высшего положения — решения стоящих перед ним вопросов путем математического анализа» (Федоров, 1915, стр. 895). Особенно четко проводится этот принцип в работах Федорова по кристаллографии. С самого начала он подвергает резкой критике формальную школу немецких кристаллографов и их последователей. Взамен ничем не связанных деталей и находимых на ощупь закономерностей он кладет в основу науки о кристаллах единый строго геометрический базис. «Это наука требует от своих приверженцев полной строгости в логических заключениях и не допускает ни малейшей произвольности и субъективности,— пишет Е. С. Федоров.— Работать в области кристаллографии, не будучи геометром, невозможно» (Федоров, 1901, стр. 2).

В первой крупной работе Е. С. Федорова «Начала учения о фигурах», которую он написал еще будучи студентом Горного института, ярко отразились характерные черты его творчества. Сам автор рассматривал свой труд

как существенное дополнение к элементарной геометрии. Этот труд представляет одну из первых по времени попыток систематического изложения элементарного геометрического учения о пространственных фигурах. Однако, помимо чисто математических вопросов, в этой книге разбирается также ряд фундаментальных проблем, лежащих в основе современной теоретической кристаллографии. Сюда относятся глава о симметрии, учение о поясах, вывод выпуклых многогранников, выполняющих пространство — знаменитых федоровских параллелоэдров. Впоследствии разработка данных геометрических проблем привела Е. С. Федорова к созданию теории кристаллического строения, к выводу законов пространственного расположения элементарных частиц в кристаллах, к развитию зональной кристаллографии, позволяющей разрешать графическим путем сложнейшие кристаллографические вопросы. Недаром современные кристаллографы считают год выхода в свет «Начала учения о фигурах» знаменательной датой в истории науки о кристаллах, датой зарождения современной теоретической кристаллографии.



Е. С. Федоров

Переходя к позднейшим кристаллографическим работам Е. С. Федорова, занимающим первенствующее место среди его трудов, отметим прежде всего исключительное разнообразие их содержания. Однако на общем их фоне особенно выделяются три вершины его творчества — гениальный вывод 230 пространственных групп, разработка кристаллохимического анализа и создание теодолитного метода с изобретением двукружного гониометра и столика для микроскопа. В своей первой книге Е. С. Федоров (1885 г.) расширил вывод А. В. Гадолина, дав исчерпывающую характеристику совокупностей элементов симметрии для всех без исключения конечных фигур (в то время вывод И. Ф. Гесселя не был ему известен).

Вскоре Федоров приступает к решению новой задачи: выводу совокупностей элементов симметрии, возможных для теоретически предугадываемых кристаллических структур. Упомянутая задача усложняется тем, что кристаллические структуры рассматриваются как бесконечные геометрические системы. В связи с этим в них встречаются элементы симметрии, невозможные для конечных фигур (трансляции, винтовые оси, плоскости скользящего отражения). Кроме того, наблюдается взаимная параллельность осей и плоскостей, что также исключено в конечных системах. Приняв во внимание все эти обстоятельства, Федоров и вывел 230 пространственных групп, 230 совокупностей элементов симметрии для кристаллических структур. Эти совокупности соответствуют тем единственно возможным законам, по которым располагаются в пространстве элементарные частицы, слагающие кристаллические структуры.



Г. В. Вульф

Опубликованный в 1890 г. вывод Е. С. Федорова в то время остался совершенно непонятым. Академия наук отказалась даже рассмотреть его работу, представленную на соискание премии. Годом позже немецкий математик А. Шенфлис повторил вывод 230 пространственных групп. В своем сочинении и в письмах к Е. С. Федорову он отмечал приоритет русского ученого по данному вопросу и указывал, что часть допущенных им ранее ошибок была своевременно исправлена благодаря указаниям Евграфа Степановича.

Широкое признание федоровских идей пришло через 20 с лишним лет после опубликования его вывода, когда открытие рентгеноанализа позволило приступить к расшифровкам реальных кристаллических структур. Е. С. Федорову посчастливилось дожить до блестящего опытного подтверждения своих гениальных теоретических выводов.

В настоящее время пространственные группы лежат в основе современного рентгеноанализа кристаллов, так как любая реальная кристаллическая структура должна обязательно подчиняться одной из 230 групп.

Второй вершиной творчества Е. С. Федорова является его теодолитный метод, разработанный на основе изобретения двукружного гониометра [1] и универсального столика для микроскопа (Федоров, 1893). Сущность теодолитного метода заключается в том, что изучаемый кристалл подвергается вращению вокруг нескольких осей и тем самым может быть всесторонне изучен.

Вслед за появлением нового гониометра несколько авторов также предложили свои конструкции двукружных гониометров. Таковы широко распространенные приборы Гольдшмидта и Чапского. В настоящее время исследователи кристаллов работают исключительно на двукружных гониометрах. В кристаллографических лабораториях всего мира пользуются этими приборами, позволяющими в кратчайший срок получать точные геометрические характеристики кристаллических многогранников.

Еще более крупный переворот был произведен Федоровым в области кристаллооптической методики, имеющей огромное значение в минералогии, петрографии, физике и химии. Для того чтобы получить всестороннюю оптическую характеристику кристаллических образований, предшественникам Федорова приходилось изготовлять множество различно ориентированных тонких срезов из одного и того же кристалла и затем тщательно изучать

[1] До Е. С. Федорова прибор, по принципу сходный с его гониометром, был сконструирован английским кристаллографом Миллером, прославившимся своей системой кристаллографических символов. Однако изготовленный в единственном экземпляре прибор этот за пределами университетской лаборатории в Кембридже оставался совершенно неизвестным.

их под микроскопом. Федоров применил здесь идею, использованную им при постройке двукружного гониометра.

Универсальный теодолитный столик, изобретенный Федоровым, привинчивается к обычному столику микроскопа. Исследуемый препарат помещается по середине федоровского столика и может наклоняться вокруг нескольких осей последнего. Таким образом, один и тот же препарат исследуется в различных ориентировках относительно оси микроскопа, независимо от того, как был проведен срез в кристалле. В результате изучения лишь одного среза мы получаем полную оптическую характеристику исследуемого кристалла.

Применение федоровского столика оказалось особенно плодотворным в петрографии. В первую очередь при помощи столика Федоров детально изучил группу важнейших породообразующих минералов — полевых шпатов, установив ряд закономерностей, связывающих их оптические свойства с изменениями в химическом составе.

Столик Федорова и приемы исследования на нем распространены во всем мире. В любой петрографической лаборатории мира микроскопы сопровождаются прибором, носящим имя русского ученого. В литературе неоднократно отмечалось, что изобретения лишь одного федоровского столика было бы вполне достаточно для того, чтобы имя его стало бессмертным.

Третьей вершиной творчества Федорова и одновременно венцом всей его работы в области кристаллографии является кристаллохимический анализ. «Кристаллическая форма составляет один из важных внешних признаков, характеризующих отдельно определенные химические соединения» (Менделеев, 1931, стр. 235). Это утверждение издавна являлось общепризнанным. Е. С. Федорову принадлежит идея положить кристаллические формы в основу специального анализа вещества. Федоровский кристаллохимический метод дает возможность, исходя из гониометрического изучения кристалла, определить его химический состав, а также получить схематическое представление по внешним формам о его внутреннем строении (типе его решетки).

В основу этого метода Федоров положил, с одной стороны, закон постоянства углов между соответственными гранями для кристаллов определенного вещества, а с другой — свою теорию кристаллического строения, базирующуюся на его же учении о параллелоэдрах.

Ход кристаллохимического анализа, по Федорову, состоит в измерении кристалла на двукружном гониометре, определении типа его решетки по наличию преобладающих граней, выделении некоторых характерных угловых величин и сравнении полученных данных с данными, приведенными для всех известных кристаллических образований в фундаментальной сводке «Царство кристаллов» (1920). В результате исследуемое вещество отождествляется с одним из веществ, помещенных в этой сводке.

Впоследствии ученик Федорова — проф. А. К. Болдырев выработал свою методику, представляющую упрощенное видоизменение федоровского метода. Им была проведена большая работа по подготовке специального «Определителя кристаллов», дающего предельное упрощение определения химического состава по углам кристаллов [1].

Параллельно с Е. С. Федоровым вопросами решетчатого строения кристаллов занимались французские кристаллографы — Э. Малляр и Г. Фридель. В это же время (1897 г.) английский автор, архитектор по специальности,

[1] В частности, этим чисто лабораторным методом одному из студентов Ленинградского горного института удалось установить наличие на Урале оловянной руды — касситерита. Это открытие было сделано на практических занятиях по гониометрии при измерении музейного образца, долгие десятилетия хранившегося под ошибочным названием рутила и оказавшегося оловянным камнем.



В. Гольдшмидт

В. Барлоу снова вернулся к идее о роли плотнейших шаровых упаковок внутри атомных кристаллических построек, удачно предсказав типы некоторых простейших реальных структур.

Кристаллохимические исследования в прошлом столетии и начале нынешнего века касались в основном проблем изоморфизма и полиморфизма.

Безусловный интерес представляет оригинальная кристаллохимическая классификация минералов («гетеромерная минералогическая система»), опубликованная в 1855 г. московским химиком и минералогом Р. Германом. По идее эта классификация близка к современной систематике, базирующейся на понятии «миналов» (большинство породообразующих минералов можно рассматривать как соединения из нескольких определенных соединений — «миналов»).

В первой большой работе (диссертация) Д. И. Менделеева — «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы и состава» (1856) дан большой критический обзор данного вопроса и предложена оригинальная систематика веществ по их форме и составу. В 1893 г. вышла в свет капитальная сводка крупного минералога и кристаллохимика А. Е. Арцруни — «Физическая химия кристаллов» (Arzruni, 1893). В ней сделана попытка расположить элементы по изоморфным рядам. Эту попытку высоко оценил В. И. Вернадский, впоследствии развивший и существенно углубивший идеи Арцруни. Широкую известность получили труды выдающегося австрийского минералога Г. Чермака по изоморфизму полевых шпатов, слюд, пироксенов, амфиболов и др.

Энергетический подход к явлениям кристаллизации нашел свое начало в трудах известного основателя современной химической термодинамики Д. У. Гиббса и великого французского физика П. Кюри. Последнему мы обязаны также понятиями об универсальной роли симметрии в окружающем нас мире. Он же, совместно со своим братом Ж. Кюри, положил начало изучению пьезоэлектричества на кристаллах, имеющего ныне огромное практическое значение.

Из русских авторов электрические свойства кристаллов кварца (пироэлектричество) изучал Б. З. Коленко.

Теорию минимума поверхностной энергии кристаллического многогранника, находящегося в равновесии с раствором, развил знаменитый русский кристаллограф Г. В. Вульф. Имя этого ученого пользуется широкой славой как создателя общепринятой стереографической сетки, автора классических работ по кристаллогенезису и пионера рентгенометрии кристаллов в нашей стране. В частности, Г. В. Вульфу принадлежит вывод основной формулы рентгеновского анализа — формулы Брэгга — Вульфа. В начале нынешнего

столетия Г. В. Вульф был энергичным сторонником сближения кристаллографии с физикой и физической химией, вопреки исторической традиции, связывавшей ее с минералогией. Он писал: «Учение о кристаллах есть отдел физики, и его ведению принадлежат не только природные окристаллизованные минералы, но вообще все твердые тела. Минералогу без кристаллографии обойтись нельзя, но кристаллографу знание минералогии вовсе не обязательно» (Вульф, 1926, стр. 3). Дальнейшее развитие науки о кристаллах в основном пошло по пути, указанному Г. В. Вульфом.

Характеризуя положение кристаллографии к концу прошлого — началу нынешнего столетия, необходимо упомянуть ряд капитальных сводок, подводящих итоги всему тому, что было сделано в данной области.

К ним прежде всего относятся сводки крупного немецкого кристаллографа П. Грота — «Физическая кристаллография» (1905 г.) и «Химическая кристаллография» (пять томов, 1906—1919 гг.). Он же явился основателем международного «Кристаллографического журнала», где в числе других печатались труды русских авторов во главе с Е. С. Федоровым.

Не меньшую роль сыграли сводки по кристаллографическим углам (1897 г.) и кристаллическим формам (1886—1891 гг.) В. Гольдшмидта.

Особого упоминания заслуживает его «Атлас кристаллических форм», в котором собраны все когда-либо публиковавшиеся изображения кристаллов минералов (Goldschmidt, 1913—1923). Составитель этого громадного труда справедливо рассматривал его как «орудие для развития нашей великой науки — кристаллографии» (Ферсман, 1958, стр. 681).

Из числа ученых, изучавших в то время кристаллогенезис, кристалломорфию и физико-химические свойства реальных веществ, назовем В. Гольдшмидта, Г. Чермака, Ф. Бекке, Р. Браунса, К. Клейна, Ф. Ринне, П. Гобера, О. Мюгге, Г. Мирса, Г. Спенсера и др. Из русских ученых следует упомянуть П. А. Земятченского («Этюды по кристаллогенезису»), В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана (кристаллография алмаза).

В 1912 г. М. Ф. Лауэ открыл дифракцию рентгеновских лучей в кристаллах, а в следующем 1913 г. отец и сын Брэгги дали первые расшифровки реальных кристаллических структур. С этого времени в развитии кристаллографии открывается новая эпоха.

УЧЕНИЕ О РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Во второй половине XIX в. начали осваиваться новые типы руд, накапливался материал по давно разрабатываемым месторождениям, который служил основой для обобщения. К тому же со временем совершенствовались методы исследования и внедрялись новые. Передовую роль в развитии идей о рудных месторождениях по-прежнему, продолжая традиции Фрейбергской горной академии, играли немецкие ученые (Б. Котта, А. Гроддек, Ф. Зандбергер, А. В. Штельцнер). Заметный след в истории науки оставили чех Ф. Пошепный и француз Л. Делоне. На арену мировых дискуссий выступают скандинавы (И. Фогт), англичане (Д. Филлипс) и впервые — американцы (С. Эммонс). Важный вклад в развитие науки о рудных месторождениях внесли русские ученые — А. П. Карпинский, А. А. Иностранцев, И. В. Мушкетов, А. Д. Озерский, И. Полетика, К. А. Кулибин, Е. С. Федоров и многие другие. Следует отметить, что в России направление научных исследований носило свои особые черты. Основные стремления исследователей были направлены на решение практических задач, что было вызвано традиционной практической направленностью школы русских горных инженеров.

В развитии идеи о происхождении рудных месторождений вторая половина XIX в. ознаменовалась борьбой сторонников латераль-секреционной гипотезы (К. Бишоф, Ф. Зандбергер, С. Эммонс) и последователей Эли де Бомона, которого обычно считают автором гидротермальной гипотезы (Б. Котта, Ф. Пошепный).

Как уже было отмечено выше, эти два направления наметились значительно ранее, причем были попытки объединения крайних взглядов.

Б. Котта в 1859 г. издал капитальный труд «Учение о рудных месторождениях». Являясь приверженцем строгого подхода к фактам, он отмечал, что еще недостаточно накоплено данных для разработки какой-то единой теории рудных месторождений, да такая единая теория и невозможна, поскольку сами месторождения образуются различными путями и могут принадлежать к разным генетическим группам. Котта принимает, что некоторые жилы могут возникать в результате сублимации; наконец, он не исключает и магматическое образование некоторых жил. Особо выделяет Котта месторождения, образованные путем замещения пород, причем впервые им предлагается термин «метасомазис», позднее измененный в термин «метасоматоз».

Котта возрождает идеи Эли де Бомона о возможно длительном развитии жил, отлагающихся из водных растворов. Этим они резко отличаются от жил изверженного происхождения, формирующихся быстро, посредством единовременного заполнения трещины магмой. Котта подчеркивает, что некоторые месторождения могут быть образованы в результате наложения различных процессов. Так, магматические жилы могут быть позднее изменены при наложении процессов инфильтрации; в то же время жилы, образованные из восходящих водных растворов, могут быть также преобразованы в дальнейшем, причем близ поверхности они изменяются под влиянием грунтовых вод, насыщенных кислородом воздуха. Здесь, по-видимому, впервые наиболее отчетливо сформулированы положения о зоне окисления месторождений. Первичные же месторождения, которые, по мнению Котта, являются главными, образуются на значительной глубине.

Котта подчеркивает, что месторождения возникали в различное время, в разных местах, и нельзя выделить какой-то единый период рудообразования. В отношении рудоносных магматических пород эти идеи еще ранее были развиты Д. И. Соколовым. Следует подчеркнуть, что Котта не был чужд и идее заимствования вещества из боковых пород, и в целом его теория была как бы компромиссной между двумя борющимися направлениями — латераль-секреционным и магматическим.

К этому же периоду в Германии относится выход в свет «Учения о рудных месторождениях» А. Гроддека (Groddek, 1879). Гроддек, как и до него Котта, придерживался компромиссного взгляда на проблему и говорил о неправильности одностороннего увлечения какой-либо одной стороной вопроса. По мнению А. Гроддека, ошибка исследователей заключалась в том, что они придавали общее значение взглядам, правильно выведенным из отдельных случаев.

В дальнейшем линия на «примирение» этих враждебных направлений проводилась и Л. Делоне (De Launay, 1893). Хотя Делоне обычно считают приверженцем латераль-секреционной гипотезы, на самом деле он в равной мере признавал и другие процессы образования руд. Именно ему принадлежит термин «гидротермальные месторождения», который, кстати сказать, долгое время не прививался, а в американской литературе редко употреблялся и до самого последнего времени. Делоне же является автором термина «металлогения», под которым он, правда, подразумевает направление изучения происхождения руд, а не их пространственного распределения, как это стало принятым потом. Он заложил многие основы современных представ-

лений, как о генезисе месторождений, так и о пространственных закономерностях их распределения, причем эти положения были сформулированы уже в последней четверти XIX столетия.

На фоне этого, казалось бы, согласия в развитии теоретических представлений о генезисе руд резким диссонансом являются работы Ф. Зандбергера (Sandberger, 1877, 1883 и др.). Развивая идеи, ранее высказанные Г. Бишофом, отчасти А. Добре и другими, Ф. Зандбергер, как известно, пришел к полному отрицанию связи жильных месторождений с изверженными породами. Это был самый последовательный и крайний сторонник латераль-секреционной гипотезы, с именем которого ее обычно связывают.

Интересно, что представление о заимствовании металлов из вмещающих пород Зандбергер разрабатывал на таких, казалось бы, бесспорных постмагматических оловянных месторождениях, как Альтенберг и другие в Рудных горах. На основании химических анализов он установил присутствие олова, свинца и других металлов, а также фтора в слюдах и полагал, что именно из слюд эти элементы были заимствованы растворами, а позднее переотложены в трещинах в виде жил или в прожилках, слагающих штокверки, наподобие альтенбергских. Зандбергер полагал, что и другие месторождения, например золоторудное Ледвилл в Колорадо или золото-серебряное Комсток в Неваде, также были образованы путем извлечения металлов из силикатных пород. В частности, об этом, по его мнению, говорит повышенное содержание золота и серебра в диабазах, а также уменьшение этого содержания почти вдвое в разложенных диабазах, что свидетельствует о выносе металлов растворами. Количество ценных металлов в рудных жилах такого месторождения, как Комсток, по Зандбергеру, вполне соизмеримо с количеством рассеянных металлов в породе.

В отношении золоторудного месторождения Ледвилл взгляды Зандбергера в Америке поддерживал Стерри Хант (Sterry Hunt, 1873) и С. Эммонс (Emmons, 1886—1887). С резким опровержением взглядов Зандбергера выступил Ф. Пошепный (Posepny, 1894), который много лет занимался изучением Саксонских Рудных гор, возглавляя кафедру учения о рудных месторождениях в Пршибрамской горной академии. Ф. Пошепный, таким образом, изучал те же месторождения, что и Зандбергер, но пришел к противоположным выводам и выступил с резким опровержением латераль-секреционной гипотезы. Он указывал, что с позиций латераль-секреционной гипотезы можно было бы понять концентрацию металлов в жилах, расположенных среди гранитов или кристаллических сланцев, но как тогда объяснить проявление рудных жил в известняках, где никакое заимствование металлов невозможно?

Вместе с тем он отмечал, что растворы скорее всего имеют восходящее движение, а не стягиваются по направлению к трещинам. В то же время и сами трещины не бывают зияющими, как это показывают наблюдения в рудниках. Наконец, последний и решающий аргумент против теории Зандбергера представляло утверждение, что установленные в слюдах и других силикатных минералах примеси рудных элементов на самом деле привнесены в породу последующими растворами, а не являются первичными.

Восстанавливая в настоящее время аргументы этой дискуссии, нельзя не признать, что Зандбергер во многом предвосхитил современные представления некоторых исследователей о заимствовании металлов из силикатных пород, особенно из их темноцветных составляющих: олова и бора — из слюд и т. д. В настоящее время эти идеи подтверждаются точными анализами, которые позволяют в историческом аспекте рассматривать представления Зандбергера, как близко отвечающие действительности, хотя, может быть, основанные не столько на точных аналитических данных, сколько на интуиции.

Положительной стороной работ Зандбергера явилось привлечение внимания исследователей к вопросу о влиянии среды на процессы рудообразования, хотя, конечно, в своих крайних утверждениях и полном отрицании связи рудных жил с магматическими породами Зандбергер и не был прав.

Следует подчеркнуть, что общий источник рудного вещества и он видел в глубинных оболочках земной коры, откуда рудные составляющие выносились вместе с магматическими расплавами, были рассеяны в кристаллизующихся силикатных минералах, из которых позднее выщелачивались растворами, с тем чтобы потом переотлагаться здесь же в трещинах или в вышележащих горизонтах.

Ко времени начала развития идей Зандбергера относится выход в свет работы Д. Филлипса. В статье о породах Корнуэлльского горного округа и связи их с магматизмом он (Phillips, 1875) говорит о приуроченности оловорудных жил к гранитам, указывая, что они встречаются в непосредственной близости от контакта и среди гранитов или сопровождают серии кислых даек, которые концентрируются вблизи гранитов. Он считает, что эти месторождения возникли после застывания верхней части гранитов, но еще в то время, когда на небольшой глубине сохранился гранитный расплав. Указывая, что жилы обычно являются секущими по отношению к гранитным дайкам, но иногда бывают и пересечены ими, Филлипс предполагает, что рудные жилы были близки по времени образования к внедрению послегранитных кислых даек.

Однако в трактате о рудных месторождениях, он, признавая достижения Зандбергера в установлении примесей тяжелых металлов в силикатах, меняет взгляды и уже главное значение в оруденении придает вмещающим породам Корнуэлла. Пространственная связь рудных жил с изверженными породами, по его мнению, объясняется нагревом циркулирующих в них вод; кроме того, внедряющиеся массивы служили «орудием» образования трещин.

С опровержением идеи Зандбергера выступил вскоре А. В. Штельцнер (Stelzner, 1889). Он указывал, что идеи Зандбергера не новы, и обращал внимание на методические ошибки Зандбергера, доказывая, что металлы могли быть привнесены в силикатные минералы горных пород в процессе оруденения, а не являются их первичной составной частью.

Неоценимое значение представляют работы и другого оппонента Зандбергера — Ф. Пошепного, который создал стройную теорию рудных месторождений (Posepny, 1894). В отличие от Зандбергера, Ф. Пошепный, как и Делоне и Котта, широко смотрел на проблему генезиса рудных месторождений и признавал возможность проявления различных рудообразующих процессов. Он, как и многие другие, начал свою работу о генезисе рудных месторождений с классификации их, выделяя:

1. Рудные месторождения в трещинах:

а) среди осадочных пород (Клаусталь, Андреасберг);

б) в соседстве с эруптивными массивами (Рудные горы, Пршибрам);

в) внутри эруптивных массивов (Венгрия, Комсток).

2. Месторождения в растворимых породах, образовавшиеся путем выполнения пустот растворами, или метасоматические месторождения — свинцово-цинковые (Райбл), золотые (Ледвилл).

3. Метаморфические месторождения:

а) в слоистых породах, образованных из морских или пресных вод (железные руды Тюрингии, медные и свинцово-цинковые руды Мансфельда);

б) метасоматические месторождения в растворимых породах (отложения каламина в растворимых породах);

в) в кристаллических сланцах и магматических породах (Таберг, Швеция)

4. Гистеромагматические месторождения.

5. Осадочные месторождения:
а) химические;
б) механические (россыпи).

Как видно из приведенной классификации, в основу Ф. Пошепный стремился положить генетический признак, причем для трещинных жил он выделял группы в зависимости от положения рудных тел относительно эруптивных массивов. Однако непосредственный источник металлов Пошепный видел не в конкретных интрузивах, а в глубинных оболочках земной коры — в барисфере.



А. А. Иностранцев

В дискуссии по статье Пошепного в 1895 г. принял участие Д. Ле Конт, который отмечал, что в своем стремлении противодействовать крайностям Зандбергера в его латеральной секреции, Пошепный впал в другую крайность — ассенционизм, и что можно подойти ближе к истине, если объединить и примирить обе эти крайности. Он не допускал того, что циркулирующие воды опускались до барисферы. Сам он предполагал, что металлы могли выщелачиваться щелочными растворами и на глубине.

Как следует из сказанного, наиболее интенсивная дискуссия в конце XIX в. разгорелась в Германии (на материалах и примерах Рудных гор), хотя отзвуки ее были и в других странах — в Америке и во Франции. Что касается России, то здесь не было представителей крайних точек зрения. Фактический материал, весьма обильный в период широкого развития горно-эксплуатационных работ второй половины XIX в., приводил к более или менее объективным выводам об условиях образования и закономерностях распределения месторождений. К сторонникам латераль-секреционной (гидрохимической) теории можно было бы причислить А. А. Иностранцева (1877 г.), который, может быть одновременно и независимо от Зандбергера, развивал идеи о заимствовании вещества из вмещающих пород применительно к золоторудным, медным и гематитовым жилам в диоритах Олонецкой губернии. Он полагал, что медь, железо и золото заимствовались из диоритов; за счет растворенного в них кремнезема переотлагался и кварц. Интересно, что А. А. Иностранцев (1875), видимо, впервые применил отраженный свет при изучении рудных минералов.

Умеренных взглядов по вопросу о роли заимствованного и привнесенного материала при рудообразовании придерживался и А. П. Карпинский. В неопубликованном курсе лекций по рудным месторождениям (библиотека Ленинградского горного института), написанном в начале 80-х годов (до появления работ Ф. Пошепного), отмечая сложность вопроса о генезисе руд, А. П. Карпинский призывает к изучению фактического материала по месторождениям. Отдавая дань гипотезе Зандбергера, говорит о том, что и в настоящее время признается образование большей части месторождений путем выполнения трещин гидрохимическим путем. Однако он возражал сторонникам

крайних взглядов. По его мнению, материал рудных жил не всегда заимствуется из соседних пород; он может претерпевать более или менее значительный перенос, что, например, нужно допустить при образовании рудных жил в известняках. Карпинский считал, что условия отложения рудных веществ бывают весьма различными: часть рудного материала может заимствоваться из соседних пород, часть привносится в нее извне.

В то же время для силикатно-никелевых месторождений Урала А. П. Карпинский (1881) правильно признавал их образование путем заимствования металла из змеевика «или его родоначальной породы». Чтобы доказать это положение, Карпинский проделал анализы змеевиков, подтвердившие присутствие в них никеля.

Исследования, проведенные И. В. Мушкетовым в Златоустовском золоторудном горном округе и в Миасском районе месторождений цветных камней на Урале, являются первым примером крупномасштабного металлогенического анализа, основанного на детальном комплексном изучении территории. И. В. Мушкетов прежде всего подчеркивал различия минерализации западного и восточного склонов Уральского хребта. В восточной части преобладают золото, хромистый железняк, медные руды и драгоценные минералы, а в западной — главным образом встречаются бурый и магнитный железняк (Мушкетов, 1877). И. В. Мушкетов говорит о приуроченности разных минералов в Миасском районе к различным и разновременным породам: топазов, аквамаринов, колумбитов и цирконов — к альбитовым гранитам, монацита и самарскита — к обыкновенным гранитам. В области сиенита находятся скопления сфена, корунда, циркона, молибденита и др. К миаскитам приурочены пирохлор и ильменит. Составленная И. В. Мушкетовым с применением уже микроскопического изучения пород карта является первой петрографической картой и заключает ценные прогнозы на поиски драгоценных и редких минералов.

Региональное металлогеническое обобщение с установлением гигантских золотоносных поясов Азии и Северной и Южной Америки дано в интереснейшей работе И. Полетики (1866).

Весьма содержательны идеи А. Д. Озерского о закономерностях распределения серебро-свинцово-цинковых месторождений, изложенные в его очерке «Геология минеральных богатств и горного промысла Забайкалья» (1867). А. Д. Озерский связывал происхождение свинцово-цинковых руд с внедрением порфиров и гранитов, предполагая существование месторождений двух возрастов. Преследуя чисто практические задачи, Озерский отмечал, что рудные месторождения концентрируются в определенных зонах, и выделял пять продольных рудоносных полос, совпадающих с горизонтами известняков, и две поперечные полосы, где и предлагал сосредоточить поисковые работы. Он указывал, что месторождения приурочены преимущественно к известнякам и образовались путем их замещения или выполнения пустот или пещер.

На материалах тех же свинцово-цинковых месторождений Приаргунья И. Павлуцкий (1870) пришел к выводу об образовании руд благодаря химическому действию горячих газов на доломиты и известняки, в результате чего эти породы замещались рудными минералами.

Позднее И. С. Боголюбский (1872) говорил о связи тех же руд с гранитами и подчеркивал значение выявления пространственных закономерностей для поисков и разведки.

В России в описываемый период высказывались и оригинальные гипотезы о природе рудоносной среды. Так, горный инженер Б. А. Крат (1892—1893), изучая руды Зыряновского полиметаллического месторождения на Алтае и отмечая в них текстуры течения, высказал предположение об образовании

руд из вязкой рудной магмы, предвосхищая идеи Д. Э. Спёрра. Кратт развивал также интересную теорию веерных сдвигов. О непосредственном переходе гранитного расплава в кремнистый раствор на основании изучения золото-кварцевых жил Урала говорил Н. К. Высоцкий. Он считал, что вследствие последовательного выделения (выкристаллизовывания) основных составных частей из расплавленной магмы остающаяся жидкая часть ее становится все более кремнистой и богатой водой. По его предположению в остатке получается настолько разжиженный продукт, что он представляет уже переход без резкого скачка к сильно нагретым, находящимся под большим давлением растворам, или термам (Высоцкий, 1900).

Таким образом, параллельно с развитием теоретических представлений в Западной Европе, частично и независимо от них, формировались идеи о генезисе руд и в России.



А. П. Карпинский

Если вопрос о генезисе жильных месторождений разрешался в столь острых дискуссиях, то по вопросу о происхождении собственно магматических месторождений почти не было споров. Правда, некоторые исследователи, увлеченные гидрохимической гипотезой, выщелачиванием из вмещающих пород объясняли и образование хромита. Другую крайность представляла идея Г. П. Гельмерсена (1858) о возникновении магнетитовых руд горы Благодать посредством излияния рудной магмы из кратера.

В отношении платины высказывались уже давно идеи о связи ее с серпентинитами (Д. И. Соколов) или с дунитами (А. Добре). После открытия коренного выхода платиноносных пород месторождение горы Благодать посетил и изучил платиноносные породы с применением микроскопического метода А. А. Иностранцев (1893), который установил, что платина вместе с хромитом находится в перидотите.

Магматические месторождения скандинавских руд (титаномагнетитовые, магнетитовые, сульфидные медно-никелевые) изучал И. Фогт. Он последовательно разбирал вопрос о происхождении рудных обособлений в основных магмах путем ликвации и магматической дифференциации и описывал разнообразные месторождения, связанные с основными породами, например магнетитовое месторождение Таберг в оливинитах, месторождение титаномагнетитов, в габброидах (Миннесота), месторождения хромитов, и, наконец, сульфидные месторождения медно-никелевых руд, связанные также с основными магмами. Он подробно характеризовал минералогию на основе детальных микроскопических исследований и определял возрастное положение рудных минералов в общей схеме кристаллизации пород.

В работе приведены и интересные геохимические данные о соотношении элементов в разных месторождениях: никеля к кобальту, никеля к меди. Особенно ценный материал для изучения месторождений этого типа был полу-

чен в Норвегии. Вместе с тем магматическое происхождение он приписывал и некоторым месторождениям, которые мы сейчас называем медно-колчеданными. Однако он допускал и гидротермальное образование определенной группы сульфидных жил на примере Урала.

В общем XIX в. завершился в основном господством гидротермальной теории генезиса жильных месторождений, которая в XX в. получила наибольшее развитие в США — в работах Эммонса, Линдгрена и др.

УЧЕНИЕ О НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Широкое развитие промышленности во всем мире в рассматриваемый период предъявляло огромные требования почти на все виды неметаллического сырья.

Во второй половине XIX в. резко увеличилось требование на химическое сырье. Усиленно разведывались месторождения каменной соли, часть которой шла на химические нужды, в первую очередь на производство соды. Высокая цена соды и вечный ее дефицит заставляли искать ей хотя бы частичную замену, что вызывало к концу рассматриваемого периода проведение первых опытов плавки стекол с использованием сульфата натрия, а в некоторых случаях и присадок в стекольную шихту различных горных пород (андезита). Появилась первая потребность в хорошем оптическом стекле, и в силу этого резко увеличились требования к чистоте компонентов стекольных шихт.

Все это вело к поискам совершенно новых, ранее не изучавшихся видов неметаллического сырья — месторождений сульфатов натрия и маложелезистых песков. Даже пески, использовавшиеся для знаменитого «бемского» (богемского) стекла, оказывались недостаточно чисты для производства оптического стекла; разрабатывались методы обогащения стекольного песка. Выявилась крайняя бедность Американского континента песками, туда начали вывозить песок из Европы (Безбородов, 1952).

Основным источником азотных соединений для всего мира оставались месторождения натровой селитры в Чили. При переработке натровых селитр выделялось небольшое количество иодистых минералов, и из них извлекался йод. В результате этого к концу века Чили (вернее, владельцы селитренных копий) становятся мировыми монополистами, контролирующими все производство пороха, йода и азотных удобрений, а цена на эти продукты становится весьма высокой.

Сильно расширилась добыча калийных солей в Страсфуртском месторождении. В других странах во второй половине XIX столетия месторождений калийных солей не было известно, и немецкие предприниматели, владевшие месторождением, являлись монополистами по производству калийных солей, которые по очень высокой цене поставлялись во все страны света.

Изучение в конце второй половины XIX в. немецкими физико-химиками и геологами страсфуртских залежей легло в основу современных представлений об условиях солеобразования и до сих пор не потеряло своего значения.

Огромное значение приобрело фосфорное сырье, которое усиленно искали во всех странах. В эти годы были открыты фосфорные месторождения Флориды и серия фосфория на западе США, месторождения Северной Африки и Океании. Эксплуатировались месторождения гуано на островах Океании. Создавались первые теории генезиса фосфорных пород.

По-прежнему существовал большой спрос на серу; в общем балансе серы самородная сера отходила на второй план, главную же роль начинала играть серная кислота, получаемая сжиганием серного колчедана. Среди месторож-

дений самородной серы в течение почти всего рассматриваемого периода монопольное положение занимала Сицилия, на рудниках которой создалась своеобразная культура и методика очистки серы в печах, где горючим служила сера. В месторождениях нефти Техаса и Луизианы, связанных с соляными куполами, в 80-х и 90-х годах была открыта самородная сера, изучались ее ресурсы и условия залегания. В конце XIX в. был предложен Фрашем и успешно испытан метод подземного выплавления серы, однако широкое применение метода началось лишь в первых годах следующего, XX столетия, когда американская сера займет первое место, полностью вытеснив серу Сицилии со всех ее рынков.

Основные отрасли промышленности неметаллов — промышленность вяжущих, тонкая керамика, добыча песка и гравия, каменных строительных материалов — качественно мало изменились, однако количество используемых материалов резко увеличилось. Велось широкое строительство новых цементных заводов, повсеместно изучались местные ресурсы строительных материалов, и в конце века по общей своей стоимости эти виды полезных ископаемых вышли на первое место. Началось широкое применение бетонов; разного рода камень постепенно стали применять не столько как основной несущий материал, а как облицовку и щебень.

Особенно важным оказалось развитие учения о сопротивлении материалов. От прежних строек с большим запасом прочности от домов с двух-трехметровыми стенами, строившимися ранее, перешли к тонкостенным сооружениям. Это вызвало необходимость точного познания свойств камня. Исследовались физико-механические свойства камня, изучалась теплопроводность различных типов камней, их прочность; появились методы изучения временных сопротивлений камня раздавливанию, излому и растяжению; определялись первые физические константы природных горных пород (модуль Юнга, коэффициент Пуассона и др.); исследовалась твердость горных пород, их сопротивление истиранию, разрабатывались методы изучения трещиноватости и выветрелости горных пород. Были организованы замечательные лаборатории исследования физических свойств камня в Германии проф. Гиршвальда и проф. Н. А. Белелюбского в России. Хотя первоначальной задачей этих лабораторий была чисто промышленная оценка горных пород как строительного материала, полученные этими лабораториями результаты вышли далеко за пределы этой задачи, они явились основой учения о физических свойствах горных пород, развившегося в последующие 50 лет в известную теперь дисциплину — петрофизику.

Знание свойств заставляло совершенно иначе оценивать природный камень. Началась буровая разведка и изучение свойств камня в лаборатории.

Развитие металлургии и стройка крупных металлургических печей предъявляли в конце XIX в. довольно высокие требования к огнеупорному сырью (Миклашевский, 1881). Металлург не мог довольствоваться «ближайшей» глиной как огнеупором: начались широкие, научно обоснованные поиски хорошей огнеупорной глины, а также высококачественных кварцитов. Расширился ассортимент огнеупоров; так, в 1878 г. был изобретен томас-процесс, потребовавший основных огнеупоров. Ранее, еще с 1860 г., доломит стал применяться как огнеупор. На первых порах он был использован в томассовском процессе, но затем томассовские конверторы были переведены на магнезит, который добывали в Штирии (Австрия) в 1882 г.; здесь была организована добыча магнезита и его переработка на огнеупор. Магнезитовый кирпич начали использовать также в мартеновских печах.

С 1864 г. в мартеновских печах стали использовать динасовый кирпич. Это привело к резкому увеличению потребностей в чистых кварцитах, которые стали предметом широких геологических поисков.

В Англии на основе импортного цейлонского графита было организовано производство графитовых огнеупоров. Это вызвало резкое увеличение потребности в графите.

Россия не могла стоять в стороне от развития металлургии, и хотя рост металлургической промышленности здесь был относительно меньшим, чем в более развитых странах, в России во второй половине описываемого столетия начались поиски качественных глин, приведшие к очень важным результатам. Так, в 1865 г. было открыто Боровичское месторождение карбоновых глин, а в 1880 г. здесь был построен первый в России механизированный огнеупорный завод, в 1887 и в 1897 гг. на выявленных высокопластичных третичных глинах был построен завод в Часов-Яре в Донбассе и в пос. Латная близ Воронежа.

Примерно с 1880 г., а может быть и ранее, на Урале началось производство динаса для уральских заводов. Первый же механизированный завод динаса на Урале был построен в 1889 г.

В конце XIX в. на Урале и в Петербурге было организовано производство графитовых огнеупоров. Графит для них в основном ввозился из Англии (цейлонский), но частично получался из месторождений Северного Казахстана; весьма интересно, что эти месторождения, эксплуатировавшиеся примерно 100 лет тому назад, сейчас не разведаны, а некоторые из них и вообще не числятся на балансе.

Опыт огнеупорной промышленности был обобщен в 1881 г. инженером П. Миклашевским (1881) в замечательной монографии, в которой описаны все известные к тому времени месторождения огнеупорного сырья. Книга эта до сих пор не потеряла своего значения.

Развитие нефтяной промышленности и нефтехимии вызвало к жизни промышленность бентонитовых глин, которые в самом конце XIX столетия начали применяться как адсорбент для очистки нефтяных продуктов и как порошок для приготовления буровых растворов.

Резко увеличивала свою продукцию асбестовая промышленность. В Канаде были обнаружены новые месторождения асбеста, которые тут же вступили в эксплуатацию. В России, на Урале, маркшейдер Уральского горного управления А. П. Ладыженский в 1885 г. открыл крупнейшее Баженовское месторождение, которое впоследствии полностью заменило Тагильские месторождения и по продукции вышло на первое место в мире.

В конце века были открыты южноафриканские асбестовые месторождения. Поиски асбеста велись на широкой научной основе, известные месторождения усиленно изучались и описывались в научной литературе. Появились монографии и на русском языке (Мельников, 1886).

Резко изменился подход к кристаллосырью как к полезному ископаемому. Крайне интересным было появление в конце XIX столетия пьезооптического минерального сырья. Еще в 30-х годах XIX в. была впервые изготовлена из исландского шпата поляризующая призма (призма Николя). В 70-х годах поляризационный микроскоп и другие поляризационные приборы стали широко распространенными приборами, и возникла огромная потребность в исландском шпате. Месторождение в районе фермы Гельгустадир в Исландии, где впервые был найден исландский шпат еще в начале XVII в., было очень скоро полностью выработано; начались широкие поиски в других местах, и в конце XIX в. исландский шпат был найден в трапповой области Южной Африки. Добыча исландского шпата в эти годы была весьма оригинальной: приискатели добывали отдельные кристаллы, иногда на собственном дворе, и посылками отправляли в оптические фирмы. Там кристалл оценивался, принимался и оплачивался. Конечно, такая форма «торговли» могла иметь место только при крайне небольшой добыче.

В 1867 г. произошло замечательное событие, сказавшееся на всей культурной жизни того времени. Небольшой прозрачный камешек, которым играли дети на берегу р. Вааль в Южной Африке, был определен как алмаз. Началась алмазная горячка, во время которой были найдены алмазные россыпи, оказавшиеся богаче всех ранее известных алмазных месторождений. Несколько позднее, в 1870 г., была открыта трубка Кимберли, первое в мире коренное месторождение алмаза. Началась усиленная, сначала полукустарная, хищническая разработка алмаза. Вокруг трубки возник сперва поселок, затем город, и только позднее, в конце века, были построены промышленные предприятия и созданы своеобразные формы добычи алмаза — жировые столы, основанные на поверхностных свойствах этого минерала; алмаз смачивается не водой, а жиром и потому прилипает к жировому столу, когда по последнему течет водная суспензия порошка горной породы и алмаза; образцы горной породы, смоченные водой, свободно стекают со стола, не приклеиваясь к жиру.

Продолжалась добыча драгоценного камня во всех старых горнопромышленных районах. Много камня давала Южная Америка, в первую очередь Бразилия. В Колумбии были открыты месторождения изумруда (копи Муззо). Много дешевого камня поступало из Северной Америки. Добыча опала была организована в Мексике. Практически сошел на нет промысел драгоценных камней в Европе. Находки алмазных месторождений в Африке сопровождались открытием в тех же россыпях (и коренных месторождениях) пиропа. Этот пироп — капский рубин — оказался дешевле и лучше чешского пиропа, и добыча в Чехии практически прекратилась. Постепенно снижалась добыча (вплоть до полного прекращения) и «венгерских» опалов в Словакии; конкурентом этому опалу выступили открытые в Австралии очень богатые месторождения благородного опала. Большое разнообразие оттенков вместе с относительной дешевизной сделали австралийский опал излюбленным камнем ювелиров. Продолжались открытия драгоценных камней на Урале. В 1874—1875 гг. были найдены россыпи (у Нижнего Тагила и у Полевского Завода) окрашенного хромом в светло-зеленый цвет гроссуляр-андрадитового граната, известного в минералогии под названием демантоида, а у ювелиров — уральского хризолита. В 1899 г. случайно, по отдельным камням, найденным на пашне, нашли «липовскую» жилу, давшую большое количество поделочного розового турмалина.

Событием этого времени была организация в 1891 г. первой лаборатории по производству искусственного драгоценного камня — искусственного рубина. Изобретателем метода был француз Вернейль, который за 10 лет до этого сдал на хранение во Французскую академию наук запечатанный конверт с описанием метода, и только в 1891 г., когда метод был окончательно разработан и была построена лаборатория, разрешил вскрыть это письмо. Синтез кристаллического корунда велся в газовом пламени из мелкого порошка глинозема. Окрашивая корунд окисью хрома, Вернейль получал рубин. Позднее были разработаны рецепты сапфира и желтого корунда, а еще позднее тем же методом стали получать искусственную шпинель, своим цветом имитирующую очень многие природные камни.

Синтез рубина оказал очень большое влияние на промышленность драгоценных камней; рубин, ценившийся до этого в ряде случаев дороже алмаза, и чрезвычайно дорогая красная шпинель — рубелит резко снизились в цене, что привело к ликвидации многих рудников. Рубин и сапфир, хотя и ценятся довольно высоко, но добываются только попутно, совместно с другими камнями, в таких месторождениях, как россыпи Цейлона и Бирмы.

Синтетический кристаллический корунд очень скоро стал важнейшим антиабразивом и стал широко применяться в часовой промышленности, для

подшипников, различных приборов, весовых призм и прочее, чем значительно снизил потребность в таких антиабразивах, как агат-халцедон, кварцит и т. д. Очень скоро, уже в начале XX в., промышленность антиабразивов стала использовать больше синтетического рубина, чем ювелирная.

Подводя итоги рассмотрения состояния промышленности неметаллических полезных ископаемых во второй половине XIX в., следует подчеркнуть, что наиболее характерной для этого времени была концентрация промышленности и рудников в немногих капиталистических концернах, иногда монополистически контролирующих все предприятия данной области. Промышленность и рудники неметаллов стали переходить на индустриальные масштабы и целиком подчинялись финансовым интересам промышленников. Вместе с тем в эти годы поиски и разведка месторождений неметаллов становились на научную основу, велись в основном целеустремленно и достаточно широко.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

В процессе дифференциации геологии от нее отделилась наука о подземных водах — гидрогеология. Эмпирические знания о подземных водах накапливались со времени далекой древности, вероятно со времени возникновения самого человека. Это было обусловлено неуклонно растущими практическими потребностями (водоснабжение, борьба с притоком воды в горных выработках, водолечение и др.). По мере развития геологии, особенно с начала XIX в., все полнее выяснялась роль подземной воды в процессах, изучаемых этой наукой (оползни, карст, суффозия, гидратация и т. д.). По мере развития буровой техники объектом познания становятся все более глубокие подземные воды. С середины XIX в. в геологии и ряде других отраслей естествознания (гидрология, гидрохимия, гидравлика и др.) возникает ряд научных направлений, заложивших в совокупности основы гидрогеологии.

На первом же этапе становления эта наука разделилась в свою очередь на ряд направлений, решавших отдельные группы вопросов, объединенных или своим содержанием, или назначением, или методикой. Из них на первых порах выделялись: региональная гидрогеология, неразрывно связанная с гидрогеологической съемкой, ведущейся на основе геологической съемки; динамика подземных вод, изучающая движение воды на основании общих положений с помощью технических приемов и математики; учение о минеральных водах, выделяющихся своими условиями залегания, минеральным составом и температурой, своим назначением и методикой их изучения.

Региональная гидрогеология в своем возникновении и развитии связана, с одной стороны, с большой ролью воды в геологических процессах и со своеобразием воды как природного тела и объекта геологической науки, с другой — с решением практических вопросов, в первую очередь водоснабжения, особенно городов.

Быстрый рост населения в городах, как и самих городов, с середины XIX в. привел к необходимости значительного расширения и улучшения водоснабжения. Возраставшие требования санитарии и гигиены направили это расширение и улучшение городского водоснабжения в сторону все более широкого использования подземных (а не поверхностных) вод, так как подземные воды большей частью бывают очищены естественной фильтрацией. Такую эволюцию в деле городского водоснабжения можно проследить на примере ряда стран: Германии, Австрии, Венгрии, Румынии, Швеции и др.

В России бурение скважин на питьевую подземную воду началось с конца XVIII в. (до этого бурение производилось с целью получения соленой воды

для выварки соли). До середины XIX в. глубина скважин не превышала 200 *м*. С середины XIX в. бурение значительно расширилось. Особенным толчком к этому в конце XIX в. было быстрое развитие крупных фабрично-заводских предприятий и строительство железных дорог, для которых водоснабжение во многих случаях представлялось делом первостепенной важности. Возникла задача систематического сбора сведений о буровых на воду скважинах. Эту задачу в России начал выполнять с 90-х годов Геологический комитет в лице геолога С. Н. Никитина. По этому вопросу делались специальные доклады и принимались решения на ряде всероссийских съездов — на XI съезде русских естествоиспытателей и врачей в 1901 г., на I съезде деятелей по практической геологии и разведочному делу в 1903 г. и т. д.

С середины XIX в. наметились пути изучения подземных вод и на основе «геогностических» данных, геологических («геогностических») карт и соответствующих профилей. Возникла необходимость создания и специальных карт, в первую очередь карт грунтовых, т. е. неглубоких подземных вод. В России основы региональной гидрогеологии заложены трудами главным образом С. Н. Никитина. Из его работ в этой области наиболее существенное значение имели «Общая геологическая карта России, лист 57-й» (1890б), «Каменноугольные отложения Подмосковного края и артезианские воды под Москвой» (1890а), «Грунтовые и артезианские воды на Русской равнине» (1900).

Становление региональной гидрогеологии на основе геологической съемки привело к возникновению картографии подземных вод. На первых гидрогеологических картах показывалась главным образом география подземных вод, а сами воды изображались в статике. Поскольку вода, как геологическое образование, отличается значительной подвижностью, такое направление гидрогеологии было недостаточным для дальнейшего развития этой науки. Оно неизбежно должно было слиться с другим направлением — динамикой подземных вод.

Динамика подземных вод первоначально развивалась оторванно от геологической основы. Представления о движении подземных вод возникли в глубокой древности. Учение о движении подземных вод зародилось в середине XVIII в. Оно связано с именами швейцарских ученых Д. Бернулли и Л. Эйлера и русского ученого М. В. Ломоносова — членами Петербургской академии наук. Трудами первых двух заложены основы гидравлики, трудами М. В. Ломоносова положено начало общему учению о движении подземных вод как природных растворов.

Если в работах Д. Бернулли и Л. Эйлера вода фигурирует еще как абстрактная идеальная жидкость, то к середине XIX в. происходит существенный перелом в этой области. В середине XIX в. возникает динамика подземных вод, основанная на математическом расчете с учетом конкретной среды нахождения воды. Основы такого научного направления были заложены во Франции инженером-гидравликом Дарси. Он положил начало изучению законов движения воды в пористых породах. На основе опыта по фильтрации воды через трубку, наполненную песком, он установил линейную зависимость между скоростью фильтрации и потерей напора на единицу длины фильтра. Эти исследования были выполнены в первой половине 50-х годов в связи с проектированием водоснабжения г. Дижона. На основании этих опытов он сформулировал и в 1856 г. опубликовал закон, получивший название линейного закона Дарси (Darcy, 1856). Закон этот гласит так: количество воды, фильтрующейся через поперечное сечение породы, пропорционально этому сечению, прямо пропорционально напору, обратно пропорционально длине фильтрации на данном участке потока и зависит от некоторой постоянной,

зависящей от свойств породы, т. е.

$$Q = k \cdot F \frac{h}{l},$$

где Q — количество воды, протекающей в единицу времени;
F — площадь поперечного сечения потока;
h — напор или разность уровней воды в верхнем и нижнем сечении потока;
l — длина пути фильтрационного потока;
k — некоторая постоянная величина, зависящая от свойств породы, т. е. коэффициент фильтрации.

Другой французский гидравлик Дюпюи (Dupuit, 1857) разработал закон Дарси применительно к движению подземных вод в различных водоносных пластах и вывел расчетные формулы для определения естественного расхода подземных вод и притока воды в водозаборные сооружения.

В середине XIX в. было установлено, что движение подземных вод в порах и очень узких трещинах горных пород аналогично движению воды по системе капиллярных трубок. Такой вид движения — в виде отдельных струек, передвигающихся с небольшими скоростями без разрыва сплошности параллельно одна другой, получил название ламинарного течения (движения). Но тогда же было установлено, что в крупных пустотах и трещинах горных пород подземная вода движется как по каналам и трубам, когда имеют место неупорядоченные вихревые перемещения частиц жидкости по сложным траекториям и вследствие этого перемешивание между слоями ее. Такой вид движения получил название турбулентного. Математическое выражение для этого рода движения подземных вод предложил французский гидравлик А. Шези. Если по линейному закону фильтрации (Дарси), т. е. при ламинарном движении, скорость фильтрации пропорциональна первой степени напорного градиента, или уклона, подземного потока, то при турбулентном движении скорость потока (согласно формуле Шези) пропорциональна его уклону в степени 1/2.

В дальнейшем динамика подземных вод развивалась главным образом в связи с запросами гидротехники во Франции (в 70-х годах и позднее — Буссинеск), Германии (в 70-х годах — А. Тим, в 80-х — Форхгеймер, О. Люгер, Кребер), США (в 90-х годах — А. Хазен, Слихтер), Швеции (в 900-х годах — И. Г. Рихерт), Бельгии, Голландии и др. Многочисленными исследованиями названных ученых (главным образом гидравликов) был выражен в математической форме ряд законов движения подземных вод применительно к многообразным условиям природы и различным случаям практики.

В России обобщающая теория движения грунтовых вод была разработана Н. Е. Жуковским, который ввел понятие о силе сопротивления при фильтрации грунтовых вод. Он вывел впервые в науке дифференциальные уравнения движения подземных вод. Основная его работа «Теоретическое исследование о движении подпочвенных вод» опубликована на русском языке в 1889 г. и дважды на немецком языке — в 1892 и 1895 гг. Исследованиями Н. Е. Жуковского в самом конце XIX в. была создана теоретическая основа для дальнейшего развития теории фильтрации применительно к подземным водам (Жуковский, 1889).

Учение о минеральных водах развивалось первоначально в форме медицинской гидрологии. Последняя выделилась на основе многовековой практики использования сначала поверхностных, затем все более глубоко каптированных подземных минеральных вод в целях лечения. Водолечение известно с очень давних времен. С античного времени высказывались разные точки

зрения на происхождение этих вод, делались попытки их классификации. На протяжении XVIII и первой половины XIX в. происходил процесс становления учения о минеральных водах как составной части гидрогеологии. В конце XIX в. французский геолог Л. Делоне (L. de Launay, 1899) опубликовал сводную работу, посвященную изучению, каптированию и использованию термоминеральных вод.

В России интерес к исследованиям минеральных вод особенно усилился в 80—90-х годах. В это время появилась большая литература, в которой указывалось распространение и многообразие минеральных вод страны. Особенно многочисленны исследования в эти годы группы Кавказских Минеральных вод. В 1883—1885 гг. только что образовавшийся тогда Геологический комитет провел специальное гидрогеологическое исследование старорусских липецких и кавказских минеральных вод (И. В. Мушкетов). В связи с развитием курортного дела возникла необходимость охраны минеральных вод. С этой целью с 90-х годов стали проводиться детальные гидрогеологические исследования выходов минеральных вод, особенно в районах курортов (И. В. Мушкетов, К. И. Богданович и др.).

Большое значение для изучения минеральных вод России на рубеже XIX и XX вв. имел Первый всероссийский съезд деятелей климатологии, гидрологии и бальнеологии, происходивший в Петербурге в 1899 г. Здесь закладывались научные основы учения о минеральных водах.

Из наиболее важных теоретических вопросов общей гидрогеологии первой половины XIX в. был вопрос о происхождении подземных вод.

Вопрос о происхождении подземных вод привлекал к себе внимание с отдаленнейших времен. Во второй половине XIX в. по этому вопросу развивались две теории. Одна из них — теория инфильтрации сводилась к тому, что подземная вода происходит от проникающих в землю поверхностных дождевых и талых вод. Этот взгляд высказывался рядом античных мыслителей, подробно излагался в I в. н. э. римским ученым Витрувием, экспериментально доказан в XVII в. французским ученым Мариоттом и рядом других исследователей, после чего стал господствующим.

Другая теория — теория конденсации. Еще Аристотель в IV в. до н. э. придерживался мнения, что воздух, проникая в холодную горную породу, сгущается там в воду. Этот взгляд не имел решающего значения в ходе развития науки о подземных водах вплоть до последней четверти XIX в. В 1877 г. немецкий геолог О. Фольгер выступил с положением о том, что воздух содержащий водяные пары, проникая в поры почвы и горных пород и охлаждаясь там, оставляет часть своей влаги на поверхности частиц (Volger, 1877). По теории Фольгера, на поверхности частиц происходит конденсация водяных паров воздуха, подобно росе, осаждающейся по утрам на охлажденной поверхности Земли. Теория эта была умозрительной, экспериментально не доказанной и имела характер гипотезы. Она вызвала в конце XIX в. оживленную дискуссию. Некоторую сводку литературы по этому вопросу опубликовал немецкий геолог Г. Гефер (1925). Процессы конденсации воды в почвах и горных породах стали предметом тщательного изучения уже в XX в.

В самом конце XIX в. стала постепенно формироваться третья теория происхождения подземных вод — теория глубинного (вулканического, магматического) генезиса их.

Из других теоретических вопросов гидрогеологии к концу XIX в. приобретали важное значение вопросы о взаимосвязи поверхностных и подземных вод, о роли растительности, особенно леса, в режиме грунтовых вод, о влиянии климатической зональности на характер грунтовых вод. Важной проблемой стал вопрос о нижней границе возможного нахождения подземных вод. В 1896 г. американский геолог Ван-Хайз (Van Hise, 1896) предло-

жил делить земную кору на три зоны: 1) зону трещиноватости, или верхнюю зону, в которой породы находятся под действием давления, недостаточного для того, чтобы закрыть пустоты; 2) зону пластичности, или глубокую зону, в которой все породы находятся под действием давления, превосходящего их пределы упругости, и поэтому подвергаются деформации, переходя в состояние пластичности, при которой закрываются существовавшие пустоты; 3) промежуточная зона, где более прочные породы ведут себя так, как если бы они были в зоне трещиноватости, а более слабые — как в зоне пластичности. Некоторые геологи пытались математическим путем определить нижнюю границу пористости пород или верхнюю границу зоны пластичности, т. е. глубину возможного нахождения жидкой подземной воды. После многочисленных по этому вопросу высказываний общепринятой стала глубина 16 *км*. Было установлено также, что на большой глубине водообильность, однако, резко уменьшается.

В общем с середины XIX в. вода становится объектом специального изучения. Практические познания подземных вод превращаются в стройную систему знаний о них на геологической основе. Объектом познания гидрогеологии стала не только подземная вода, но вмещающие ее горные породы. Последние стали, таким образом, изучаться не только в аспекте петрографии и стратиграфии, но и гидрогеологии. Изучение горных пород как вместилища воды заключалось в первую очередь в изучении их пористости, трещиноватости, кавернозности, в изучении сил, действующих на воду — молекулярного притяжения воды в породах, поверхностного натяжения, капиллярности и т. д. Эти области познания связывали развитие гидрогеологии не только с геологией, но и с рядом других наук.

Термин «гидрогеология» появился еще в самом начале XIX в. во французской литературе, но носил совершенно иное содержание. Оно изложено в книге Ж. Б. Ламарка «Гидрогеология» (Lamark, 1802). Содержание этого термина станет ясным из полного названия его труда: «Гидрогеология, или исследования о влиянии вод на поверхность земного шара, о причинах существования морского бассейна, о его перемещении и последовательном передвижении по различным пунктам земной поверхности и, наконец, об изменениях природы и состояния этой поверхности, производимых живыми телами».

Лишь постепенно в мировой литературе под термином «гидрогеология» стали понимать учение о подземных водах. В русской литературе этот термин введен в 80-х годах. Первая должность гидрогеолога в официальном учреждении (Таврическое губернское земство) была установлена в 1886 г. Эту должность занял профессор Новороссийского университета (ныне Одесский) геолог Н. А. Головкинский.

* * *

Итак, во второй половине XIX в. при сохранении прежних представлений о происхождении и строении Земли основными чертами развития геологической науки являлись: резко усилившаяся дифференциация ее на отдельные, самостоятельные отрасли, из которых в силу экономических причин важнейшим стало учение о рудных месторождениях, а вследствие открытия микроскопического метода — петрография; накопление детальных знаний об отдельных элементах и свойствах геологических объектов; развитие эволюционного учения в геологии. Вместе с тем наряду с этими основными чертами в рассматриваемый период наметились тенденции, получившие господствующее значение в последующих периодах — объединение наук о Земле и развитие точных методов в геологии.

4

РАЗВИТИЕ ТОЧНЫХ МЕТОДОВ В ГЕОЛОГИИ (XX В.)

*

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОБОЛОЧЕЧНОМ СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

Конец XIX — начало XX в. является переломным моментом в развитии как общественных отношений, так и естествознания в целом, в частности наук о Земле, включая геологию. К этому времени относится образование монополистического капитализма и переход капитализма в стадию империализма. Этот переход характеризовался неравномерным, но бурным развитием производительных сил, ростом международных экономических связей, борьбой за передел мира. В дальнейшем огромное значение для развития науки имела Великая Октябрьская социалистическая революция. Глубокие научные исследования развернулись в СССР и других странах социализма.

Большой качественный скачок произошел в XX в. в развитии естествознания. Крупные научные открытия способствовали быстрому развитию отдельных его отраслей. В различные области науки все больше стали внедряться математические методы. Начавшийся ранее процесс дифференциации естествознания особенно углубился в XX в. Вместе с тем наряду с дифференциацией укреплялись связи между отдельными науками, возникали пограничные области, как, например, астрофизика, биохимия, позднее биогеохимия и т. п.

Особенно большой переворот произошел в физике в связи с открытием лучей Рентгена (1895 г.), радиоактивного распада (П. и М. Кюри, 1898 г.), изучением строения атомного ядра (Э. Резерфорд, 1899 г.) и т. п.

В области химии, тесно связанной с физикой, были сделаны открытия ряда новых элементов, входящих в периодическую систему Менделеева. Были также построены модели атомов, причем оказалось, что число электронов в атоме, находящихся вне ядра, соответствует «порядковому числу» элемента в периодической системе. Открытия в физике и химии подготовили развитие геофизики, геохимии, радиогеологии.

Значительные изменения произошли во взглядах на происхождение Земли. Новые астрономические данные определили постепенный отход от космогонической небулярной гипотезы Канта — Лапласа. В 1901 г. американские ученые Ф. Мультон и Т. Чемберлин выступили с идеей о происхождении Земли из мелких частиц — планетозималей, составлявших массу спиральной туманности. Из ядра этой туманности образовалось Солнце, из отдельных скоплений — зародыши планет. Вследствие сгущения и стол-

кновения планетозималей происходил разогрев ранее холодной материи; следовательно, Земля в астрономическую стадию своего развития была раскаленной. В 1916 г. американский астроном Д. Джинс опубликовал свою гипотезу приливов, согласно которой из первоначально существовавшего Солнца притяжением проходившей мимо звезды вырвалась длинная струя (протуберанец). Этот протуберанец образовал туманность с отдельными сгущениями — клубками, из которых в свою очередь образовались планеты. Охлаждаясь, они перешли из газообразного состояния в жидкое.

Гипотеза Джинса, объяснявшая некоторые черты строения Солнечной системы (например, тот факт, что наибольшую плотность имеют внутренние планеты), была охотно принята и в течение длительного времени господствовала в науке. Таким образом, несмотря на значительное изменение космогонических воззрений, в первой половине XX в. еще сохранились представления о прохождении Землей первоначального огненно-жидкого состояния. Однако взгляды на дальнейшее развитие и современное состояние Земли стали принципиально иными.

Изучение физических свойств Земли, основанное на данных гравиметрии, метеоритики и новой науки, возникшей на рубеже XIX и XX вв.,— сейсмологии, позволило перейти к представлениям о современном твердом состоянии и оболочечном строении Земли.

Эти представления о современном строении Земли сохранились и при изменении космогонических воззрений, связанных с переходом от гипотезы Джинса к гипотезе об образовании Земли из холодных частиц, в основе которой лежали работы К. Ф. Вейцзеккера (1945—1946 гг.), О. Ю. Шмидта (1944 г.), Г. Юри (1951 г.), Х. Альфвена (1956 г.) и др. Эти гипотезы исключали предположение о начальной огненно-жидкой стадии существования Земли. Расслоение ее на оболочки, по воззрениям О. Ю. Шмидта, предполагалось как следствие первичной неоднородности и гравитационной дифференциации ее вещества.

На рубеже XIX и XX вв. на основании теоретических расчетов плотности Земли возникло предположение о ее двухслойном строении, согласно которому Земля состоит из твердой оболочки значительной мощности и ядра. Эта идея впервые была высказана в 1897 г. профессором Геттингенского университета Э. Вихертом, и поддержана затем геофизиками Р. Олдгемом, Б. Гутенбергом и многими другими. Оболочка была названа Вихертом мантией, между корой и мантией он предполагал существование тонкого пластичного слоя. В дальнейшем предполагалось трехслойное строение Земли (В. Клуссман, 1915 г., позднее к этому заключению пришли Э. Вихерт и Б. Гутенберг). Постепенно сейсмическими методами были установлены важнейшие границы разделов внутри Земли: граница между корой и мантией на глубине 50 *км* — хорватским геофизиком А. Мохоровичичем в 1910 г., граница ядра на глубине 2900 *км* — немецким геофизиком Б. Гутенбергом в 1914 г., границы магматического пластичного слоя на глубине между 106 и 232 *км* — русским ученым Б. Б. Голицыным в 1912 г., поверхность раздела между «гранитным» и «базальтовым» слоями в земной коре — австрийским ученым Б. Конрадом в 1925 г., граница внутреннего ядра — датской исследовательницей И. Леманн в 1936 г. Таким образом, была установлена сейсмическая модель Земли, в общем виде принятая и в настоящее время. Считается, что Земля состоит из четырех компонентов: коры, мантии, ядра и внутреннего ядра. Однако в эту геометрическую схему различными науками вкладывалось все более конкретное содержание.

Данные исследований метеоритов, особенно развившиеся в конце XIX и в XX в., привели к предположению о том, что метеориты являются осколками какой-то распавшейся планеты, причем считалось, что каменные метео-

риты соответствуют оболочке планеты, а железные — ее ядру. По этой аналогии возникло представление о том, что и Земля в своей подкоровой части состоит из каменной оболочки — мантии — и железного ядра. Существование железного ядра подтверждалось как будто бы и измерениями плотности Земли, и земным магнетизмом, и данными геологии. Вместе с тем идея о железном ядре предполагала химическую дифференциацию вещества Земли в жидком состоянии, в начальный период ее образования, т. е. соответствовала «горячей» космогонической гипотезе.



В. Н. Лодочников

Естественно, эта идея была поколеблена при переходе к «холодной» космогонической гипотезе и даже несколько раньше — в связи с предположением В. Н. Лодочникова (1939 г.) и, позднее, финского петрографа В. Рамзея (1948 г.) о физическом фазовом изменении вещества Земли с глубиной, в связи с чем и происходит разделение на оболочки. Таким образом, ядро Земли имеет иное физическое состояние, чем мантия, но нет никаких причин предполагать его именно железным.

Данные новой науки XX в.— геохимии — дали возможность подойти к определению химического состава оболочек Земли. Американским ученым Ф. Кларком в 1908 г. было подсчитано среднее содержание элементов в земной коре. Эти величины впоследствие в его честь были названы кларками. Химический состав геосфер был впервые намечен в 1909 г. не геохимиком, но геологом-тектонистом Э. Зюссом. Отказавшись от своих прежних, упрощенных представлений о расплавленной внутренности Земли и тонкой земной коре, Э. Зюсс принял идею о железном ядре и каменной мантии. Оболочки Земли, выделенные Зюссом по химическому составу, были названы им: Nife (Ni, Fe) — ядро, Sima (Si, Mg) — промежуточный слой (т. е. мантия) и Sal (Si, Al) — земная кора. Предложенное Зюссом деление и обозначения «нифе», «сима» и «саль», или «сиаль», были приняты геологами и долго удерживались в науке.

В 1922 г. норвежским геохимиком В. М. Гольдшмидтом была выдвинута идея о расслоении вещества Земли в стадии жидкого расплава, по аналогии с металлургическим процессом, на три несмешивающиеся жидкости: силикатную, сульфидную и металлическую. Эти жидкости при дальнейшем застывании Земли образовали ее оболочки: силикатную (земная кора), эклогитовую, сульфидно-окисную (в современном понимании, соответствующие верхней и нижней мантии) и железное ядро. Идея об аналогии с металлургическими процессами и выделение сульфидной зоны были поддержаны немецким ученым Г. Тамманом (1924 г.)

Американский ученый Г. Вашингтон на основании сопоставления оболочек Земли с различными типами метеоритов составил в 1925 г. следующую

схему строения Земли. Под земной корой, состоящей из «гранитного» и «базальтового» слоев, находится перидотитовая оболочка, ниже располагаются последовательно зона спорадических металлов (т. е. зона, где металлы встречаются редко, случайно) и зона спорадических, редких силикатов. Еще ниже находится центральное ядро.

Различные схемы химического состава геосфер были предложены учеными разных стран — Г. Линком (1929 г.), П. Ниггли (1928 г.), П. Н. Чирвинским (1931 г.) и др. По мнению А. Е. Ферсмана (1933), расслоение Земли на оболочки происходило в условиях сравнительно низкой температуры. Новым в работах А. Е. Ферсмана было выделение им рудной зоны на глубине 1200—2900 *км*. Оболочки Земли различного химического и петрографического состава (осадочная, метаморфическая, гранитная, базальтовая, алюмо-феррисиликатная и металлическое ядро) были выделены в 1934—1942 гг. В. И. Вернадским. С предположением об изменении характера химизма при углублении в недра Земли выступил в 50-х годах А. Ф. Капустинский. Он выделил три оболочки Земли: 1) перисферу на глубине 50—120 *км* (зона нормального химизма); 2) интерсферу на глубине 120—2900 *км*, имеющую эклогитовый состав (зона вырожденного химизма), и 3) центрисферу, соответствующую ядру зоны (зона нулевого химизма). Вещество здесь находится, по мнению Капустинского, в металлическом состоянии и представляет собой квазикристаллическую жидкость, по твердости приближающуюся к стали.

Итак, при изменении взглядов на происхождение Земли изменились и представления об общем строении Земли, и при применении новых, точных методов оказалось возможным как определить границы оболочек Земли, так и высказать предположения об их химическом и отчасти петрографическом составе.

Одной из основных проблем петрографии и геологии в целом является проблема магмы, т. е. гипотетического расплава, из которого образуются горные породы. В период господства гипотезы Канта — Лапласа проблема магмы решалась просто: наличие огненно-жидкой массы под земной корой объясняло и извержения вулканов, и образование изверженных горных пород путем внедрения и застывания этой массы. Однако при отказе от представлений о существовании такой сплошной расплавленной массы оказалось необходимым предположить, что магма приурочена лишь к верхнему подкоровому слою. Представление о вязком подкоровом слое, или о вязкой массе внутри Земли, существовало и раньше, но в новом периоде оно получило особый смысл, а впоследствии было подтверждено и прямыми данными сейсмологии. Американский геолог Д. Баррел в 1914 г. этому слою дал название «астеносфера». Это название укрепилось в науке и принято в настоящее время для обозначения слоя пониженных скоростей сейсмических волн. Предположение о существовании «астеносферы» являлось одним из очень важных моментов в построениях как петрографов, так и тектонистов. Так американский геолог Р. Дели (Daly, 1914, 1933) в своих работах, посвященных происхождению изверженных горных пород, исходил из общих представлений о строении Земли, основанных на данных сейсмологии и геохимии. Р. Дели принимал существование железного ядра, оболочек «сиаль» и «сима» по Зюссу, но предполагал, что вязкий слой под земной корой является базальтовым. Точку зрения Дели разделял американский петрограф Н. Л. Боуэн, обосновавший происхождение всех горных пород из единой базальтовой магмы.

Существование пластичного подкорового слоя служило основой большинства геотектонических гипотез XX в., в частности для гипотезы перемещения материков, которые как бы скользили по вязкому слою (Taylor, 1910; Wegener, 1915). Наличие подобного слоя предполагала также пульса-

ционная гипотеза, основанная на предположении о сочетании сжатия и расширения в развитии Земли, изложенного американскими геологами У. Бухером и А. В. Грэбо в 20—30-х годах, гипотеза магматических течений в подкоровом веществе, развитая О. Ампферером, К. Андре, Ф. Коссматом, осцилляционная гипотеза Э. Хаармана, гипотеза радиоактивных циклов Д. Джоли, гипотеза конвекционных течений А. Холмса и др. Обзор этих гипотез читатель найдет в главе, посвященной истории геотектоники, здесь мы отметим только, что геологи-тектонисты, опираясь на идею о существовании вязкого подкорового слоя и рассматривая тектонические структуры «в плане», в общем недостаточно основывались на представлениях о строении Земли в целом. Лишь недавно геотектонические гипотезы все больше стали связывать с развитием общей структуры Земли — такова астенолитная гипотеза Б. Виллиса и Р. Виллиса, радиомиграционная гипотеза В. В. Белоусова, гипотеза глубинной дифференциации Р. В. Беммелена и др.

По поводу состава нижележащей оболочки Земли — мантии — существовали различные точки зрения. Кроме аналогии с составом каменных метеоритов, высказывались мнения о ее эклогитовом или перидотитовом составе, в основе которых лежали соответствующие взгляды В. М. Гольдшмидта и Г. Вашингтона.

И, наконец, всеми представителями наук о Земле до 40-х годов XX в. признавалось существование железного ядра. Совершенно безоговорочно принимали железное ядро в своих общих построениях структуры Земли геологи Э. Зюсс, Э. Ог, Р. А. Дели, Д. Джоли и др. После работ В. Н. Лодочникова и В. Рамзея эта идея была поколеблена, но в самое последнее время многие исследователи к ней вернулись.

Косвенным подтверждением этого предположения являлись опыты сжатия оливина под сверхвысоким давлением, проведенные советскими учеными (Альтшуллер и др.) В случае изменения физического состояния, соответствующего границе ядра, при этом должно было бы наблюдаться разное изменение плотности. Однако этого наблюдать не удалось, что и заставило вновь пересматривать взгляды о химическом изменении вещества Земли, т. е. возможности существования железного ядра. Кроме того, данные об изменении состава вещества Земли также позволяют предполагать возрастание с глубиной содержания тяжелых металлов — железа и никеля.

Таким образом, если в предыдущем периоде характерной чертой геологии были исследования земной коры, при допущении существования под ней однородной расплавленной массы неизвестных свойств и состава, то в XX в. после определения общей структуры Земли и состава ее оболочек по данным сейсмологии, геофизики, геохимии и метеоритики для геологии оказалось необходимым искать причины геологических явлений в глубинах Земли, сначала в подкоровом слое, затем, по мере накопления данных, привлекая в своих теоретических построениях все более глубокие горизонты Земли. Распространение геологических представлений на область, расположенную ниже земной коры, является одной из основных характерных черт развития геологии в первой половине XX в.

Выше было сказано, что для построения модели Земли были привлечены данные новых наук, возникших на рубеже XIX и XX вв.,— сейсмологии, установившей границы разделов земных оболочек, геофизики, определившей их плотности, геохимии, давшей возможность сделать количественный подсчет элементов в земной коре, и т. д. Таким образом, в общих представлениях о Земле, с которыми была связана геология, впервые стали широко применяться точные методы. Внедрение точных методов и количественных констант в геологию выражалось также в развитии микроскопического метода и при-

менении физико-химического анализа и петрографии, применении рентгеноструктурного анализа в минералогии, появлении радиометрических методов определения абсолютного возраста горных пород, развитии инструментальных методов в изучении землетрясений и т. п.

Следовательно, установление количественных критериев в геологии является второй характерной чертой для данного периода ее развития.

Как было показано выше, на каждом этапе развития геологии обычно выдвигаются вперед отдельные ее отрасли или определенные идеи, которые становятся ведущими и в свою очередь определяют направленность ее развития на данном этапе.

Наиболее полные сведения о составе оболочек Земли давала геохимия. С помощью геохимических методов оказалось возможным сделать подсчет среднего содержания элементов в земной коре, определить закономерности миграции элементов и т. п. Данные геохимии стали использовать в минералогии, петрографии, учении о рудных месторождениях и др. Следовательно, одной из ведущих отраслей геологической науки в XX в. стала геохимия.

Большое значение в развитии геологии получило учение о геосинклиналях, постулирующее выделение крупных типов геологических структур — платформ и геосинклиналей.

К этим разным типам структур оказались приуроченными различные, характерные для данного типа отложения, горные породы, минералы; оказались различными характер залегания слоев, эндогенные процессы, характер тектонических движений и т. п. Таким образом, учение о геосинклиналях, зародившееся еще в конце прошлого века, стало господствующей идеей в первой половине XX в.

Следует отметить еще одну характерную черту развития геологии в XX в.— продолжавшуюся ее дифференциацию на отдельные отрасли. Таковы геология нефти, геология угля, четвертичная геология, гидрогеология, радиогеология и т. п. В пограничной области между геологией и географией возникла геоморфология, между геологией и геофизикой — сейсмогеология и т. д. Процесс дифференциации, а также возникновение смежных отраслей были свойственны, как сказано выше, всему естествознанию в целом.

СТРАТИГРАФИЯ

Развитие стратиграфических представлений определялось в XX в. следующими общими обстоятельствами.

Во-первых, в это время стратиграфия становится уже планетарной областью исследования, утрачивая свою, преимущественно европейскую, ограниченность, которая характеризовала ее на предыдущем этапе развития. Особенно большое значение имело при этом развитие стратиграфических исследований в США, с одной стороны, и в Азиатской части СССР, с другой, т. е. в областях, значительно удаленных от центральноевропейских разрезов, и в то же время с полной, широко распространенной и разнообразно построенной серией осадочных образований.

Второй общий момент, сыгравший существенную роль в развитии новейшей (XX в.) стратиграфии,— значительный прогресс в развитии ее методов, прежде всего палеонтологического, что привело к возникновению особой области стратиграфического исследования — биостратиграфии и, естественно, к значительному уточнению стратиграфических сопоставлений и к детализации стратиграфической классификации. Существенную роль сыграло

при этом включение в сферу биостратиграфического анализа микрофоссилий — фораминифер, остракод и др.

Большое значение для стратиграфии имело одновременно развитие литологии и, соответственно, внедрение в стратиграфию литологических методов исследования и общих литогенетических представлений.

Следующее обстоятельство — это наличие международной системы стратиграфической классификации, которая хотя и в достаточно общей еще форме, но была разработана все же в конце предыдущего этапа развития стратиграфии, в период первых сессий (I—VII, 1878—1900 гг.) *Международного геологического конгресса.*

Наконец, последнее — это развитие радиологических методов абсолютной геохронологии, влияние которых сказалось главным образом на разработке стратиграфии древнейших, докембрийских, образований, а в самое последнее время и на стратиграфии наиболее молодых (верхнечетвертичных) членов стратиграфического разреза.

Для общей характеристики условий развития стратиграфии в XX в. следует отметить также, что область ее исследования не только расширилась в пространстве, достигнув в этом смысле планетарных масштабов, но, одновременно, распространилась и вглубь — на толщи докембрийских образований. Полностью вовлекаются, наконец, в сферу стратиграфического изучения и новейшие — четвертичные образования, которые до этого времени оставались еще слабо изученными.

При все расширявшемся охвате стратиграфическими исследованиями стран с существенно отличным от западноевропейского типом развития осадочных толщ все чаще стали возникать трудности при использовании для классификации этих толщ международной (т. е. заподноевропейской) системы *подразделений. «... пришлось столкнуться,— указывает известный совет*ский палеоботаник и геолог А. Н. Криштофович,— с полной невозможностью параллелизации ряда осадочных образований более или менее отдаленных стран с подразделениями общей геологической шкалы», и замечает дальше, что «весьма мало надежд, чтобы в более или менее близком будущем все местные толщи были уложены в прокрустово ложе европейской шкалы» (Криштофович, 1939, стр. 69—70). Это обстоятельство заставило геологов многих внеевропейских стран стать на путь разработки местных систем стратиграфической классификации, которые могли бы заменить в какой-то степени общую (западноевропейскую) стратиграфическую шкалу. Тем самым появился стимул для развития регионального направления в стратиграфии, которое на предыдущем этапе подавлялось общим стремлением к установлению единой международной системы стратиграфической классификации.

Наиболее рано и в наиболее последовательной и законченной (но отнюдь не в наиболее совершенной) форме принципы местной системы стратиграфической классификации были разработаны в США, в 1933 г. принятые в качестве официальных для США правил стратиграфической классификации *и номенклатуры (Ashley и др., 1933). Впоследствии эти правила были пере*работаны и в новом варианте опубликованы в 1961 г. (American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1961). Формулировка американских правил послужила толчком к аналогичным попыткам в других странах. Широкое и разностороннее развитие, опирающееся на значительно более общую, чем в США, методическую основу, регионально-стратиграфическое направление получило в СССР, в работах Н. И. Андрусова, написанных в период с 1896 *по 1916 г., Р. Ф. Геккера и др. (1932), А. Н. Криштофовича (1939), М. А. Усова* (1936), О. С. Вялова (1936), Д. Л. Степанова (1946), Г. П. Леонова (1953, 1953а) и ряда других советских исследователей, а также в положении о стратиграфической классификации и терминологии, опубликованном

советским Междуведомственным стратиграфическим комитетом в 1956 г. и повторно, с дополнениями и исправлениями, в 1960 и 1965 гг.

Большую, но не всегда вполне положительную роль сыграло в развитии регионального направления в стратиграфии внедрение в практику стратиграфических работ литологических методов исследования и, соответственно, литогенетического принципа регионально-стратиграфической классификации. Наряду с большими успехами в данной области одностороннее использование литологического критерия привело, в частности американских геологов, к значительному упрощению региональных схем, сведению их до уровня элементарных литостратиграфических построений.

Несмотря на большое внимание, которое стало уделяться на новейшем этапе развития стратиграфии проблеме регионально-стратиграфических схем и их взимоотношений с общей международной шкалой, единообразного понимания данной проблемы все же достигнуто не было. Даже наоборот, в этом вопросе четко наметились две диаметрально противоположные точки зрения. Одна из них, поддерживаемая многими американскими и некоторыми из западноевропейских и советских (Леонов, 1955; Степанов, 1958) стратиграфов и нашедшая свое отражение в новых (1961 г.) американских правилах стратиграфической номенклатуры, сводится к тому, что региональные (литостратиграфические, по американской терминологии) и международная (хроностратиграфическая) системы классификации являются независимыми и равноправными. Согласно же противоположной точке зрения, которая защищается многими западноевропейскими и рядом советских геологов, в частности советским Междуведомственным стратиграфическим комитетом, основной «единой» системой стратиграфической классификации является система международная (западноевропейская), региональные же схемы всегда имеют лишь вспомогательное, рабочее значение.

Одной из наиболее характерных особенностей стратиграфии XX в. является развитие новых, более совершенных форм использования палеонтолого-стратиграфических данных, в первую очередь развитие и широкое распространение зонального метода Оппеля. Зональный метод, опирающийся на общий прогресс эволюционной палеонтологии, с одной стороны, и на детальные, тщательные палеонтолого-стратиграфические исследования, с другой, становится в различных своих модификациях основным орудием дальней, вплоть до трансконтинентальной, корреляции разрезов.

Область применения зонального метода — зональной стратиграфии, или биостратиграфии (s. str.),— получает в связи с этим значение самостоятельного и чрезвычайно важного направления стратиграфического исследования.

С развитием биостратиграфии значительно возрастает точность стратиграфических сопоставлений; и если раньше оставалась обычно некоторая свобода для субъективного толкования схем взаимоотношения сопоставляемых разрезов, то в дальнейшем степень такой произвольности все более и более сокращается. Все труднее становится в связи с этим настаивать на одновременности проявления в различных областях мира морских трансгрессий, поднятий, резких изменений условий осадконакопления и других подобных, всегда более или менее локальных геологических явлений, говорить о «всеобщих геологических эпохах» и рассматривать в качестве таковых подразделения международной (западноевропейской) геохронологической шкалы.

Следовательно, повышение точности стратиграфических сопоставлений способствовало тому, что у все большего числа геологов изменялся взгляд на сущность и назначение международной стратиграфической шкалы. Они переставали видеть в ней универсальную естественную систему, отражающую

последовательность «всеобщих геологических эпох», и начинали ее рассматривать лишь как условный общий масштаб геологического времени, присоединяясь в этом отношении к тем участникам первых сессий Международного геологического конгресса, которые, подобно С. Н. Никитину, с самого начала деятельности конгресса придерживались именно такой точки зрения. Постепенно взгляд на Международную стратиграфическую шкалу как на «искусственную, но необходимую для дальнейшего движения науки систему» (Никитин, 1888, стр. 127) сделался, по-видимому, к 30—40-м годам нашего века уже преобладающим у геологов всех стран мира. В соответствии с этим за международной стратиграфической шкалой все более укрепляется в последнее время название хроностратиграфической шкалы.

На первых (I—VIII, 1878—1900 гг.) сессиях Международного геологического конгресса стратиграфическая международная шкала рассматривалась и рекомендовалась лишь в основных ее подразделениях (группа, система, отдел), причем, как отмечалось, без точного определения объема и границ последних. Впоследствии, в течение полувека, конгресс к проблеме международной шкалы не обращался. Отдельные же исследователи и геологические службы различных стран стали использовать ее достаточно свободно, в результате чего многие ее звенья получили разноречивую трактовку, затруднявшую обобщение историко-геологических данных, составление международных геологических карт и т. п. Это заставило Международный геологический конгресс вернуться на его последних сессиях (начиная с XIX сессии в 1952 г. в Алжире) к проблеме общей стратиграфической шкалы и попытаться унифицировать и максимально уточнить номенклатуру, объемы и положение ее подразделений, вплоть до наиболее дробных.

Работа в данном направлении, которая стала проводиться стратиграфической комиссией конгресса и национальными стратиграфическими комитетами отдельных стран (в СССР Междуведомственным стратиграфическим комитетом, организованным в 1955 г.), выдвинула новую проблему международной стратиграфической классификации — проблему стратотипов подразделений международной шкалы.

Представление о стратотипе, т. е. типичных отложениях данного стратиграфического подразделения, появилось, вероятно, одновременно с первыми попытками стратиграфической классификации вообще. Но в тот период (вплоть до конца XIX в.), когда в стратиграфических подразделениях (западноевропейских) значительная часть геологов стремилась видеть образования всеобщих геологических эпох, повсеместно характеризующихся однотипным набором признаков и прежде всего, конечно, палеонтологических, понятию «типичных отложений», «типичного разреза» не придавалось большого значения. Лишь отдельные исследователи того времени, в частности Седжвик в его полемике с Мурчисоном (Sedgwick, 1854), подчеркивали необходимость тщательного, точного изучения и описания типичных отложений каждого из вновь выделяемых подразделений.

Не получило фактически применения понятие стратотипа и при разработке международной стратиграфической шкалы в период первых сессий Международного геологического конгресса. Большинство деятелей последнего пыталось определить объем и положение границ ее подразделений непосредственно, на основе присущих им общих, в основном палеонтологических признаков, считая последние достаточными для однозначного выделения соответствующих подразделений на всей поверхности Земли. Впоследствии, однако, для многих геологов стало ясно, что одних лишь непосредственных палеонтологических данных для выделения подразделений международной шкалы еще недостаточно, так как даже наиболее общие из них не являются

все же универсальными и в зависимости от влияния тех или других м е с т н ы х факторов претерпевают достаточно ощутимые изменения. Это обстоятельство и заставило обратиться к «типичным отложениям» и «типичным разрезам» как к объективному, о д н о з н а ч н о м у к р и т е р и ю определения объема и положения границ хроностратиграфических подразделений.

Впервые, по-видимому, в ясной форме данный критерий был использован в 1927 г. в стратиграфической схеме каменноугольной системы, принятой первым Херленским конгрессом по стратиграфии карбона. В этой схеме положение границ основных подразделений карбона (динанта, намюра, вестфаля, стефана) было определено через конкретные разрезы и даже конкретные слои Франко-Бельгийского, Вестфальского и Саарского каменноугольных бассейнов.

В более общей, принципиальной форме проблема использования того же критерия была поднята спустя десять лет, в 1937 г. немецким геологом У. Кегелем, выдвинувшим идею коллективного международного изучения и описания «опорных разрезов» (Richtprophile). По мысли Кегеля (Kegel, 1938), в подобных — опорных — разрезах могли бы быть установлены границы основных подразделений международной шкалы, которые служили бы затем как реперные при выделении палеонтологическим методом соответствующих подразделений в любых других районах земного шара. Идея опорных разрезов получила общее одобрение немецких геологов и в 1937 г. была реализована путем изучения разреза пограничных слоев среднего и нижнего девона в районе Прюмской мульды в Эйфеле (Solle, 1942). Этот — В е т т е л ь д о р ф с к и й — опорный разрез получил известность благодаря его всестороннему тщательному палеонтологическому изучению, осуществляющемуся Зенкенбергским обществом естествоиспытателей во Франкфурте-на-Майне, под общим руководством известного немецкого палеонтолога Р. Рихтера.

Термин «стратотип» был предложен советским геологом Н. П. Герасимовым (1937), по аналогии с употреблявшимся в палеонтологии термином «генотип», и получил в последние годы широкое распространение как в советской, так и в зарубежной геологической литературе. В настоящее время установление, описание и всестороннее изучение стратотипических разрезов является одним из важнейших методов уточнения и унификации объемов и границ как основных (систем, отделов), так и более дробных (ярусов, подъярусов) подразделений международной хроностратиграфической шкалы.

Наконец, характерной особенностью стратиграфии XX в. является развитие стратиграфии древнейших, докембрийских, образований, с одной стороны, и новейших, четвертичных, отложений, с другой, связанное с внедрением в стратиграфию новых методов исследования: в стратиграфии докембрия — прежде всего радиологических методов определения абсолютного возраста слоев.

В первые три десятилетия XX в. успехи стратиграфического изучения докембрийских образований были связаны с развитием петрологических и *тектонических методов исследования. Исследование этих методов привело* к разработке региональных схем расчленения докембрия восточной части Балтийского щита — Я. И. Седерхольмом, Украинского массива — В. И. Лучицким, Канадского щита—Ч. Ван-Хайзом, А. Лоусоном и другими американскими геологами. В последующие годы в стратиграфическом расчленении докембрийских образований все большее значение начинают приобретать радиологические методы определения возраста слоев. В изучении докембрийских образований эти методы стали выполнять ту роль, которую, по отношению к более молодым слоям, сыграл в свое время палеонтологический метод. Одновременно делаются попытки — Б. М. Келлером, И. Н. Крыловым и другими советскими исследователями — распространения на верхнюю часть

докембрийских образований и палеонтологического метода, опираясь на изучение строматолитов и различного рода проблематик.

На основе корреляции радиологическими методами для ряда континентов стали разрабатываться унифицированные схемы расчленения докембрийских образований широкого радиуса действия.

Аналогичное значение радиологические методы (радиоуглеродный и др.) получили и в стратиграфии новейших отложений, где они стали существенно дополнять и даже заменять иногда палеонтологический метод, точность которого оказывается здесь уже недостаточной из-за все возрастающей детальности стратиграфического расчленения данных отложений.

На стратиграфию основной части фанерозойских отложений данные абсолютной геохронологии не оказали пока еще заметного влияния. Но в дальнейшем и здесь, по-видимому, следует ожидать существенного сдвига в основном, очевидно, в части международной хроностратиграфической шкалы.

ГЕОТЕКТОНИКА

Наука о движениях и деформациях земной коры вступила в XX век, имея уже довольно хорошо разработанную классификацию структурных элементов мелкого и среднего масштаба (складки и разрывы осадочного чехла), основы учения о геосинклиналях и платформах (Дж. Дэна, Э. Ог), о тектонических циклах (М. Бертран), первый общий синтез современной структуры земной коры (Э. Зюсс), начала классификации тектонических движений (Г. Джилберт)и, наконец, контракционную гипотезу происхождения тектонических деформаций (Эли де Бомон и др.).

Предмет геотектоники начал принимать свои современные очертания лишь в 30-е годы нашего века. Несмотря на то, что в течение первой его четверти развитие тектоники шло еще в рамках динамической геологии и в общем по путям, унаследованным от XIX в., новые веяния становились все более заметными. Одним из наиболее фундаментальных трудов начала века является труд ученого-революционера И. Д. Лукашевича «Неорганическая жизнь Земли» (1908—1911). В нем была сделана попытка дополнить идеи контракционной гипотезы положениями теории изостазии и раскрыть круговорот вещества земной коры в процессе магматизма, выветривания, осадконакопления и метаморфизма.

Дальнейшее развитие получило учение о геосинклиналях и платформах. В замечательной работе Э. Ога «Геосинклинали и континентальные площади», опубликованной на рубеже двух веков — в 1900 г., получило окончательное выражение противопоставление этих двух важнейших типов крупных структурных элементов земной коры. Термин «континентальные площади» вскоре был заменен во французской, а затем в русской литературе термином «платформа», появившимся во французском переводе «Лика Земли» вместо зюссовского термина «Tafel» (буквально — плита). Термин «плита» в более узком, принятом в настоящее время смысле был введен русским геологом А. Д. Архангельским в 1923 г.; по-французски он ныне переводится dalle. В немецкой и англо-американской литературе наиболее распространенным синонимом термина «платформа» стал термин «кратон», предложенный известным немецким тектонистом Г. Штилле (о его работах см. ниже) вместо термина «кратоген» австрийского геолога Л. Кобера.

Работы Л. Кобера «Строение Земли» (1922 г.) и «Альпийская Европа» (1930 г.) являются одними из наиболее крупных тектонических обобщений первых 30 лет XX в. Л. Кобер подразделяет земную кору на жесткие, устойчивые глыбы — кратогены («рождающие силу») и подвижные зоны —

орогены («рождающие горы»); первые полностью соответствуют платформам, последние в общем равнозначны геосинклиналям. На примере сначала Альп, а затем вообще альпийской зоны Европы Кобер наметил типовую схему строения орогена. Согласно этой схеме, ороген имеет двустороннее, более или менее симметричное строение по отношению к обрамляющим кратогенам, образующим его форланды. В центре орогена находится область междугорья (Zwischengebirge), или интернид, составляющая тыльную область (рюкланд) обеих ветвей орогена. Интерниды последовательно сменяются в направлении обоих форландов централидами, метаморфидами и экстернидами, последовательно перекрывающими друг друга (иногда полностью) по поверхностям пологих надвигов-шарьяжей (см. ниже); в целом все эти зоны надвинуты на форланд. Прототипом («тектонотипом») интернид Кобер считал область Венгерской впадины, прототипом остальных зон—зоны Альп: Восточно-Альпийскую, Пеннинскую, Гельветскую. Таким образом в отличие от построений Зюсса, подчеркивавшего одностороннее надвигание складчатых зон на платформы, схема Кобера исходит из двусторонней их симметрии. Заслуживает внимание то обстоятельство, что на приведенном Кобером разрезе он показал и глубинное строение коры — гранитную зону, утолщающуюся под метаморфидами и утончающуюся под форландами и интернидами, и подстилающую ее базальтовую зону.

Кобера впоследствии неоднократно упрекали, особенно в советской литературе, за попытку навязать схему строения Альп в качестве универсальной для всех альпийских и других складчатых сооружений Земли. Этот недостаток действительно присущ построениям Кобера, но следует учитывать, что к моменту появления его первых работ структура других складчатых сооружений в деталях оставалась весьма слабо изученной. В целом же стремление Кобера, по существу впервые после достаточно примитивных схем конца XVIII в. (Паллас и др.), наметить общие закономерности строения складчатых сооружений, несомненно являлось прогрессивным и положило начало разработке представлений о срединных массивах, внутренних и внешних зонах геосинклиналей (см. ниже). Положительно должна быть оценена попытка Кобера нарисовать глубинное строение складчатых сооружений и, в частности, связать увеличение мощности «гранитного» слоя с метаморфизмом и гранитизацией.

Довольно существенному видоизменению схема Кобера подверглась в работах немецкого геолога Э. Крауса (1928 г. и др.), который рассматривал каждую из ветвей двустороннего орогена Кобера в качестве самостоятельного орогена. В целом эти ветви составляют двойной ороген (Doppelorogen). Кроме того, Краус указал, что междугорья могут по простиранию выклиниваться и замещаться швом, рубцом (Narbe).

Учение о геосинклиналях получило дальнейшее развитие в работах швейцарских геологов Э. Аргана (1916 г.) и Р. Штауба (1915 г.). Уже Э. Огом было четко показано, что геосинклинали на определенной стадии своей эволюции усложняются внутренними поднятиями—геоантиклиналями. Арган и Штауб детально проанализировали распределение фаций мезозоя в Альпийской геосинклинали и выяснили, что она состояла из ряда прогибов и разделявших их узких поднятий. Последние были выражены в рельефе грядами мелких островов, которые Арган назвал к о р д и л ь е р а м и. Эти кордильеры он рассматривал в качестве фронтальных частей начавших уже в это время формироваться альпийских шарьяжей. Это мнение в последние годы оспаривается исследователями Альп, но поддерживается некоторыми советскими тектонистами, например А. В. Пейве.

Возникновение представлений о шарьяжах явилось одним из наиболее ярких событий рассматриваемого периода развития геотектоники. Откры-

тие шарьяжей было предвосхищено установлением еще в конце XIX в. крупных пологих надвигов в Шотландии (Дж. Николь, 1860 г.), в угленосном бассейне Северной Франции (Ж. О. Госселе, 1870 г.), в Бельгии (Корне, Бриар, 1877 г.), в Скандинавии (Тёрнебом, 1888 г.), в Скалистых горах Канады (Мак Коннелл). Выдающийся французский геолог М. Бертран впервые высказал идею о существовании крупных горизонтальных перемещений в Западных Альпах. Эта идея была развита в 1894 г. швейцарским геологом Г. Шардтом, которому принадлежит также гипотеза гравитационного происхождения альпийских складок и покровов, не получившая, однако, в те годы никакой поддержки. В 1902 г. соотечественник Шардта М. Люжон выступил с обобщающей схемой строения Западных Альп на основе признания ведущей роли крупных шарьяжей. Построения М. Люжона были тут же распространены П. Термье и Э. Огом на Восточные Альпы. После доклада П. Термье на Венской сессии Международного геологического конгресса в 1903 г. новые идеи завоевали широкое признание и вскоре были применены к другим альпийским сооружениям, прежде всего к Карпатам (М. Лимановский, В. Улиг, В. Мургоч).



Э. Ог

С этого времени началось увлечение шарьяжами, которое у нас в Советском Союзе достигло своей кульминации в конце 20-х и в 30-х годах. В этот период шарьяжи были установлены на южном склоне Большого Кавказа (В. П. Ренгартен, Н. Б. Вассоевич, О. С. Вялов) и на западном склоне Урала (А. А. Блохин, Г. Н. Фредерикс, Е. А. Кузнецов). Не обошлось при этом и без перегибов — в ряде складчатых систем предполагавшееся существование крупных шарьяжей было затем опровергнуто — в Пиренеях, в герцинидах Германии (за исключением Гарца, где их существование частично подтвердилось), и у нас в Забайкалье. Зато шарьяжи были доказаны бурением в Карпатах, австрийских Альпах, Динаридах Югославии, на Кавказе (в Горной Кахетии), в Аппалачах, Скалистых горах Северной Америки. В настоящее время еще продолжаются дискуссии по вопросу о роли шарьяжей в строении Гималаев, Памира и некоторых других горных систем, хотя существование их там весьма вероятно, и о масштабе максимальных горизонтальных перемещений в ряде систем, например в Восточных Альпах. Однако само явление шарьяжей получило всеобщее признание. Доказано, что их амплитуда может достигать многих десятков, в отдельных случаях более 100 км и что строение ряда (но далеко не всех) горных сооружений в основном определяется шарьяжами. Шарьяжи установлены в складчатых зонах различного возраста, начиная с байкальских, в более древних их наличие доказать трудно в связи с интенсивным метаморфизмом, но в некоторых из них они предполагаются.

Объяснение шарьяжей с позиций контракционной гипотезы вызвало определенные трудности, так как требовало очень значительного тангенциального стяжения коры. Кобер, будучи до конца своей жизни убежденным контракционистом (что ярко выражено в его трудах «Тектоническая геология», 1942 г.; «Строение и происхождение Альп», 1955 г.), считал, что описанная им структура орогена с двусторонним надвиганием его осадочного выполнения на форланды является следствием горизонтального сближения последних, сжатия и выжимания содержимого орогенов. Однако это и подобные объяснения не всем казались убедительными. Неудивительно поэтому, что еще в 1906 г. соотечественник Кобера О. Ампферер положил начало новой геотектонической гипотезе подкоровых течений (Unterstromungs theorie), в дальнейшем завоевавшей многих сторонников. Среди последних необходимо отметить крупного немецкого тектониста Э. Крауса (Kraus, 1951), давшего на ее основе новый синтез строения всей Земли, известного английского геолога А. Холмса, американского геофизика Д. Григгса и выдающегося голландского геофизика Ф. Венинг-Мейнеса. В своей современной форме эта гипотеза принимает в качестве основного двигателя тектонических процессов существование в подкоровой области, т. е. в верхней мантии, круговых конвекционных течений. Над восходящими ветвями этих течений в коре возникают крупные поднятия, над нисходящими — опускания. Гипотеза конвекционных течений встретила серьезные возражения, прежде всего со стороны советского геофизика Е. Н. Люстиха (1965), но существование в верхней мантии, особенно в слое пониженной вязкости — так называемой астеносфере, пластического течения вещества разной плотности и, возможно, различного состава не вызывает сомнений у большинства специалистов.

Начавшееся разочарование в контракционной гипотезе расчистило путь еще одной новой гипотезе, познавшей в своей судьбе и шумный успех, и почти полное забвение, и триумфальное возрождение. Речь идет о знаменитой гипотезе перемещения материков, сформулированной впервые американским геологом Ф. Тейлором (Taylor, 1910), затем в наиболее полном виде немецким геофизиком А. Вегенером (Wegener, 1915), по имени которого она нередко именуется гипотезой Вегенера. У Тейлора и Вегенера были предшественники в XIX, XVIII и даже XVII вв. Еще в 1658 г. французский аббат Ф. Пласе опубликовал сочинение под следующим характерным заглавием: «Доказательства того, что перед всемирным потопом Америка не была отделена от других частей света». На протяжении десяти лет эта книжка выдержала три издания (!). В числе предшественников Тейлора и Вегенера был и русский самоучка Е. В. Быханов, издавший в 1877 г. в Ливнах книгу «Астрономические предрассудки».

Однако идеи относительно перемещения материков, возникшие в XVII—XIX вв. главным образом под влиянием действительно поразительного сходства очертаний материков по обе стороны Атлантики, превратились в научную гипотезу лишь в трудах Тейлора и особенно Вегенера. В основу своих построений Вегенер положил представление о коренном различии состава и мощности коры под континентами и океанами, выведенное из гипсографической кривой. Мощная кора континентов состоит в основном из гранита, отчасти базальта, тонкая кора океанов — из тонкого, местами выклинивающегося «базальтового» слоя, повсеместно подстилаемого дунитом. Легко видеть сходство этой схемы, предложенной до получения каких-либо геофизических данных о коре и мантии, с современными сейсмическими разрезами литосферы. Подобие контуров материков в обрамлении Атлантического океана, сходство позднепалеозойских и раннемезозойских фаун и флор гондванских континентов, их широкий охват позднепалеозойским оледенением —

таковы аргументы, выдвинутые Вегенером в обоснование гипотезы существования в палеозое и начале мезозоя единой континентальной массы — Пангеи. Ее распад начался, по Вегенеру, в юре и был связан с дифференцированным движением материков к западу под влиянием приливных сил. Западный дрейф материков и сопротивление ложа Тихого океана послужили причиной образования складчатого пояса Кордильер, в то время как островные дуги Восточной Азии и Меланезии представляют собой, по мнению Вегенера, отставшие в этом движении обломки Пангеи.



А. Вегенер

В отличие от Вегенера Тейлор придавал главное значение смещению материков от полюсов к экватору под влиянием сил вращения Земли (роль такого смещения признавал и Вегенер, но считал его второстепенным). В результате подобного смещения, по Тейлору, образовались складчатые зоны не только Средиземноморского пояса, но и Тихоокеанского кольца.

Книга Вегенера «Происхождение материков и океанов» была переведена на многие языки, в том числе на русский (Вегенер, 1925), и положила начало новому течению в тектонике, получившему название *мобилизма*, в отличие от концепций *фиксизма*, отрицающих возможность крупных горизонтальных перемещений глыб континентальной коры.

Идеи мобилизма увлекли сначала многих геологов, в том числе таких крупных исследователей Альп, как Арган и Штауб, обратившихся к ним в поисках объяснения механизма образования альпийских шарьяжей. В своем труде «Тектоника Азии» (Argand, 1922), переведенном впоследствии на русский язык, Э. Арган привлек для объяснения генезиса альпийских цепей Европы предположение о надвигании Африки на Европу, с последующим разрывом в тылу надвинувшихся масс и образованием впадины Средиземного моря. Складчатые же зоны Азии, по Аргану, явились результатом надвигания Ангариды на глыбу Индостана; нагромождение масс создало Гималаи и подняло Тибет на современную высоту.

Р. Штауб в книгах «Строение Альп» (1924 г.) и «Механизм движений Земли» (Staub, 1928) отстаивал значительно более сложную концепцию. По его мнению, в истории Земли наблюдалось чередование эпох сближения и надвигания Гондваны и Лавразии и эпох их удаления друг от друга. Атлантический и Тихий океан образовались вследствие обрушений; кроме того, из области Тихого океана произошла Луна. Движения земной коры являются, по Штаубу, производными от вращения Земли и от подкоровых течений.

Любопытно, что в наши дни к близким взглядам на происхождение альпийских сооружений Евразии пришел советский тектонист А. В. Пейве (1967).

20-е и 30-е годы настоящего столетия были временем оживленной полемики между мобилистами и фиксистами, причем, казалось бы, победа оста-

лась за фиксистами. Действительно, в гипотезах Вегенера и Тейлора обнаружилось много слабых мест — отсутствие объяснения вертикальных (колебательных) движений коры и явлений магматизма, тесно связанных с тектоникой, недостаточность сил, привлеченных к объяснению предполагаемых перемещений материков, и трудность их смещения по поверхности океанической коры, противоречие с установленной геологами длительной, унаследованной историей развития геосинклинальных поясов. Последнее возражение стало особенно серьезным после того, как в 40-х годах выяснилось, что заложение и развитие геосинклиналей связано с разломами, пересекающими не только кору, но и уходящими нередко на значительную глубину в верхнюю мантию. Такие разломы, получившие название глубинных, обладают весьма длительным развитием и свидетельствуют о тесной связи движений коры с процессами в верхней мантии, что представляется несовместимым с дифференцированными горизонтальными движениями коры относительно мантии (и тем более верхней части коры относительно нижней). Этот аргумент, выдвинутый против гипотезы Вегенера Н. С. Шатским (1946) и В. В. Белоусовым (1948), оказал решающее влияние на умонастроения советских геологов, и в 40—50-е годы принципы мобилизма в нашей стране категорически отрицались. Резко снизилась его популярность и за рубежом, за исключением «гондванских» стран — Южной Африки, Индии. В 1937 г. крупнейший южноафриканский геолог А. Л. Дю Тойт в поддержку гипотезы Вегенера опубликовал большой труд «Наши странствующие материки» (Du Toit, 1937), в котором приводится большой фактический материал, подтверждающий сходство структуры и развития Южной Африки и Южной Америки. Дю Тойт дал несколько иное толкование истории и механизму перемещения материков, отведя в последнем ведущее место конвекционным течениям в базальтовом субстрате.

Одним из наиболее крупных открытий в области естественных наук, оказавших большое влияние на развитие геологии и в особенности геотектоники в XX в., было открытие явления радиоактивности. Первые геологические выводы из этого открытия были сделаны выдающимся английским физиком Р. Стреттом (лорд Рэлей) в 1906 г. Исходя из среднего содержания урана и тория в земной коре, Стретт показал, что количества естественно радиоактивных веществ в земном шаре совершенно достаточно, чтобы не только препятствовать его вековому охлаждению, принимаемому контракционной гипотезой, но и вызвать разогрев нашей планеты. В основе расчетов Стретта лежала неверная предпосылка о том, что содержание радиоактивных элементов в веществе всей Земли равно его среднему содержанию в коре (в действительности, этих веществ уже в нижнем слое коры примерно в десять раз, а в мантии — в сто раз меньше, чем в верхнем слое коры). Тем не менее принципиальная сторона его выводов сохраняет свое значение — естественная радиоактивность материи Земли представляет один из важнейших источников энергии тектонических и магматических процессов.

Следующий шаг в направлении привлечения радиоактивности к объяснению тектогенеза был сделан в 1924 г. ирландским исследователем Д. Джоли (Joly, 1924). Джоли выдвинул геотектоническую гипотезу, согласно которой под влиянием накопления радиогенного тепла периодически (через 25—35 млн. лет) происходит расплавление «базальтового» слоя коры. Это расплавление влечет за собой возможность горизонтального перемещения гранито-гнейсового слоя по базальтовому субстрату в западном направлении под влиянием притяжения Солнца и Луны (аналогично приливам). Континенты и океаны при этом меняются местами, а возникшие вдоль их границ геосинклинали превращаются в складчатые горные системы.

Гипотеза Джоли довольно быстро натолкнулась на серьезные возражения;

в частности, вскоре выяснилось, что температура плавления базальта значительно выше температуры плавления гранита. И тем не менее следует поставить в несомненную заслугу Джоли его попытку объяснить тектогенез и его цикличность периодическим накоплением и выделением радиогенного тепла. Более того, если в соответствии с современными данными заменить представление о периодическом плавлении базальтового слоя представлением о периодическом понижении вязкости или даже частичном плавлении астеносферы, идеи Джоли окажутся интересными и для нашего времени. В частности, плавление верхов мантии на площадях, достигающих миллионов квадратных километров, допускается и современными исследователями для областей проявления плато-базальтового вулканизма (например, Тунгусский бассейн, Деканское плоскогорье, бассейн Параны в мезозое).

В 1929 г. тепловая энергия радиоактивного распада была привлечена известным английским геологом А. Холмсом (Holmes, 1931) к объяснению конвекционных подкоровых течений. Эти течения возникают, согласно Холмсу, вследствие более высокого содержания радиоактивных элементов и выделения генерируемого ими тепла в континентальной коре по сравнению с океанической. В результате под континентами возникают восходящие течения, а на их границе с океанами, где возникают геосинклинали — нисходящие. Восходящие течения приводят к распаду континентов, а встречные нисходящие — к образованию складчатых зон.

Развивая эти представления Холмса, американский геофизик Д. Григгс (Griggs, 1939) попытался обосновать их экспериментальным путем. Эксперименты Григгса получили весьма широкую известность и послужили дальнейшему распространению гипотезы подкоровых течений, которая и ныне пользуется большой популярностью, особенно среди зарубежных геологов, и привлекается «неомобилистами» к объяснению перемещения (дрейфа) континентов (см. ниже).

Следующий вариант «радиогенных» тектонических гипотез был разработан советским геологом В. В. Белоусовым в 1942—1943 гг. под названием радиомиграционной гипотезы, но к ней мы вернемся ниже.

Итак, к концу 20-х — началу 30-х годов в теоретической геотектонике произошли существенные сдвиги. Контракционная гипотеза утратила свое монопольное положение благодаря открытию радиоактивности, шарьяжей, новым веяниям в космогонии Солнечной системы («холодные космогонии» Мультона— Чемберлина и др.). На смену ей были выдвинуты принципиально новые представления — о подкоровых течениях (Ампферер, Холмс и др.), о горизонтальных перемещениях глыб континентальной коры (Тейлор, Вегенер и др.), о ведущей роли в энергетике тектогенеза радиогенного тепла.

С наступлением 30-х годов этот перелом в развитии геотектоники получил окончательное закрепление, и вместе с тем произошло ее оформление в самостоятельную научную дисциплину. Отныне на долгое время на первый план выдвигаются концепции, признающие ведущее значение в развитии коры вертикальных, а не горизонтальных движений. Одной из первых концепций этого типа явилась осцилляционная гипотеза немецкого геофизика Э. Хаармана (Haarmann, 1930). В этой гипотезе в качестве первичного тектогенеза рассматривается образование крупных вздутий земной коры — геотуморов, формирующихся под влиянием притока магмы и разделяющих их геодепрессий. Соскальзывание осадков с геотуморов под влиянием силы тяжести является причиной их смятия в складки и осложнения надвигами: это уже вторичный тектогенез, по Хаарману. Так как вертикальные поднятия и опускания в общем соответствуют эпейрогенезу, а складко- и надвигообразование— орогенезу Г. К. Джильберт, то легко видеть, что соотношения между этими двумя типами движений понимаются Хаарманом (и его последо-

вателями) противоположно тому, как они понимались контракционистами (например, Г. Штилле), с точки зрения которых эпейрогенез — это ослабленный орогенез, т. е. вертикальные движения являются производными от горизонтальных.

В 1933 г. молодой голландский геолог, исследователь Индонезии Р. В. Беммелен выступил на международном конгрессе в Вашингтоне со своей ундационной гипотезой, сходной по основным принципам с гипотезой Хаармана, но отличавшейся более глубокой разработкой и большим соответствием геологическим фактам. В то время как в гипотезе Хаармана причиной образования поднятий большого радиуса — геотуморов (ундаций, по Беммелену) считается влияние космических гравитационных сил, в гипотезе Беммелена эта роль отводится накоплению сиалических масс, создающих в основании ундаций гранитные «астенолиты». В свою очередь, формирование астенолитов объясняется глубинной гравитационной дифференциацией (отсюда другое название гипотезы в ее более позднем варианте — гипотеза гиподифференциации). Что же касается складчатости (ундуляции, по Беммелену), то ее происхождение также Беммелен связывает с гравитационным скольжением, происходящим по-разному на разных уровнях — эпидермальном, т. е. поверхностном, дермальном — на уровне коры и батидермальном — на подкоровом уровне.

Дальнейшей разработке ундационной гипотезы Беммелен посвятил всю свою последующую научную деятельность, последовательно применив эту гипотезу к горам Индонезии, Альпам, Пиренеям, Теллю в Алжире и Марокко и Бетским горам (на юге Испании). В настоящее время гипотеза Беммелена является одной из наиболее полно разработанных геотектонических гипотез «вертикалистского» направления. В новейшем варианте своей гипотезы Беммелен (Bemmelen, 1965) стремится учесть возможность новообразования океанов в результате разрыва и растекания континентальных глыб, вводя понятие о «сверхглубинных», зарождающихся в низах мантии «мегаундациях» и снова привлекая гравитационное скольжение континентальных масс со склонов таких мегаундаций.

Легко заметить, что гипотезы как Хаармана, так и Беммелена явились своеобразным возрождением первой научной тектонической гипотезы — гипотезы поднятия второй половины XVIII — первой половины XIX в. (Л. Бух). К этому же направлению научной мысли принадлежат геотектонические концепции советских исследователей — М. М. Тетяева и его ученика В. В. Белоусова.

М. М. Тетяев был одним из создателей учебного курса геотектоники в нашей стране, который он начал читать в 1935 г. в Ленинградском горном институте, одновременно с Е. В. Милановским — в Московском геологоразведочном институте. Опубликованная М. М. Тетяевым в 1934 г. монография «Основы геотектоники» (2-е издание 1941 г.) была одной из первых попыток систематического изложения задач и методов геотектоники и обобщения материалов о тектоническом развитии земной коры с «вертикалистских» позиций. Предложенная М. М. Тетяевым и принятая затем В. В. Белоусовым и многими советскими исследователями классификация тектонических движений предусматривала выделение следующих их типов: колебательных, складчатых и разрывных. Причем за колебательными вертикальными движениями в работах Белоусова и Тетяева признается ведущая роль; складчатые и разрывные движения считаются частично также непосредственным проявлением вертикальных движений, а частично связанными с их трансформацией тем или иным путем в горизонтальные. В дальнейшем в работах В. В. Белоусова, Н. Б. Вассоевича и В. Е. Хаина колебательные движения были подразделены на два подтипа или даже самостоятельных типа: собствен-

но колебательные, или пульсации, и волнообразно-колебательные, или волновые. Первые представляют знакопеременные равноамплитудные вертикальные движения обширных сегментов земной коры, охватывающих однозначно как геосинклинали, так и платформы, вторые — проявления устойчивого воздымания одних участков земной коры и погружения других, смежных.

Первоначально М. М. Тетяев выделял еще особый тип магматических движений. Хотя это предложение и не получило поддержки, установление Тетяевым тесной связи между магматизмом и тектогенезом имело большое положительное значение и было широко использовано в последующих работах советских геологов (Ю. А. Билибин, В. В. Белоусов и др.).



М. М. Тетяев

Таким образом, как в работах Хаармана и Беммелена, так и в трудах Тетяева и Белоусова основное внимание уделялось вертикальным движениям, а контракционная гипотеза с ее предпочтением горизонтальным движениям подвергалась резкой критике. Не случайно, что именно в этот же период был разработан и такой важный метод изучения вертикальных движений геологического прошлого, как анализ распределения мощностей путем построения карт изопах (изопахит). Этот метод был использован учениками Штилле для исследования истории развития Кельтиберийских цепей и Пиреней, а В. В. Белоусовым, давшим его развернутое обоснование,— для Большого Кавказа и Русской платформы. Применение в изучении Большого Кавказа анализа фаций, мощностей и несогласий позволило В. В. Белоусову сформулировать ряд важных закономерностей развития геосинклиналей. Главным был тезис об инверсии знака вертикальных движений в процессе развития геосинклиналей, о возникновении поднятий — геоантиклиналей на месте осевых зон прогибов начала цикла и межгорных прогибов — на месте геоантиклиналей начала цикла.

Это представление о развитии геосинклиналей путем инверсии явилось в дальнейшем исходным пунктом предложенной В. В. Белоусовым в 1942—1943 гг. радиомиграционной тектонической гипотезы. По мнению Белоусова, геосинклинали образуются на месте участков земной коры, под которыми в результате интенсивной вулканической деятельности происходит охлаждение подкоровой области с соответствующим опусканием коры. Охлаждение способствует, по мнению Белоусова, дифференциации подкорового материала с накоплением вверху более кислого материала, обогащенного радиоактивными элементами. Это влечет за собой, в свою очередь, разогрев и поднятие, чем и объясняется инверсия в развитии геосинклиналей и последующее горообразование. Растрескивание возникшего поднятия ведет к выделению тепла и новому охлаждению. Это может вызвать возобновление геосинклинальных опусканий, а по прошествии нескольких циклов

геосинклинальной эволюции, в связи с израсходованием запасов радиогенного тепла,— переход области в платформенное состояние.

Этот первоначальный вариант тектонической гипотезы В. В. Белоусова был в дальнейшем значительно усовершенствован ее автором сначала в «Общей геотектонике» (1948), а затем в двух изданиях «Основных вопросов геотектоники» (1954, 1962; английский перевод 1962 г.). Создание этого крупного руководства по геотектонике, охватывающего с единой точки зрения и последовательно рассматривающего все основные вопросы и аспекты данной отрасли геологии, явилось несомненно новым значительным шагом вперед в утверждении ее самостоятельности и особой роли среди других наук геологического цикла.

Как видно из изложенного, ведущее положение в геотектонике с начала 30-х годов перешло к учениям «вертикалистского» направления. Это не означало, однако, полного забвения контракционной гипотезы. Некоторые крупные ученые и среди них прежде всего Л. Кобер в своей «Тектонической геологии» (1942 г.) и Г. Штилле в «Основах сравнительной тектоники» (Stille, 1924) и многочисленных других работах по-прежнему придерживались главных положений этой гипотезы, развивая на их основе теорию кратогенов и орогенов (Кобер) или кратонов (платформ) и геосинклиналей (Штилле).

Попытку сохранить то, что казалось наиболее ценным в контракционной гипотезе — объяснение складчатости тангенциальным сжатием вследствие сокращения объема Земли, и дополнить это новыми представлениями предпринял в 1933 г. американский геолог У. Бухер в своей монографии «Деформация земной коры» — одной из первых сводок по геотектонике. В разработанной Бухером пульсационной гипотезе принимается, что Земля испытывает попеременное сжатие и расширение. В фазы растяжения происходит заложение геосинклиналей, господствует основной эффузивный магматизм; в фазы сжатия содержимое геосинклиналей испытывает складчатость, образуются горные сооружения, возникают кислые интрузии.

Пульсационная гипотеза нашла свое дальнейшее развитие в трудах двух крупных геологов — М. А. Усова (1940) и В. А. Обручева (1940), указавших на то, что она наиболее полно соответствует диалектическому принципу борьбы противоположностей — притяжения и отталкивания, сжатия и расширения в развитии нашей планеты. Следует отметить, что еще раньше, но в самой общей и довольно туманной форме об этом писал М. М. Тетяев, а первая формулировка этой идеи принадлежит Ф. Энгельсу («Диалектика природы»).

Наконец, к рассматриваемому этапу развития геотектоники относится и возникновение гипотезы, прямо противоположной гипотезе контракции — гипотезы сильно расширяющейся Земли, четко сформулированной впервые немецким исследователем О. Хильгенбергом (Hilgenberg, 1933). Далеким предшественником Хильгенберга был русский ученый И. О. Ярковский (1889 г.), а одновременно и независимо от Хильгенберга сходные мысли высказывались у нас В. М. Букановским и М. М. Тетяевым. Тетяев считал, что конечным итогом геологического развития Земли явится ее разрушение и распад на мелкие обломки.

Развитие геотектоники в 30—40-е годы нашего века не ограничивалось, разумеется, появлением большого числа тектонических гипотез, в значительной мере умозрительных, а выражалось и в более конкретных достижениях. К ним относится прежде всего дальнейшая разработка учения о геосинклиналях и платформах и создание на этой основе карт тектонического районирования крупных территорий. В развитии данного направления тектонической науки, начиная с рассматриваемого периода, все более значительная

роль принадлежит советским ученым, приступившим к теоретическому обобщению большого материала, накопленного в связи с интенсивным геологическим изучением страны в годы ее индустриализации. Анализ этого материала позволил А. Д. Архангельскому существенно уточнить само понятие геосинклинали, подчеркнув, что геосинклиналь — это область не просто интенсивного прогибания земной коры, а высокой и многообразной тектонической подвижности и интенсивной магматической деятельности. Учитывая сложность внутреннего строения геосинклиналей, Н. С. Шатский предложил различать геосинклинальные области и системы и уже внутри последних геосинклинали и геоантиклинали, в то время как М. М. Тетяев и В. В. Белоусов сохранили в своих работах название «геосинклиналь» за всей совокупностью этих частных структур, а для обозначения последних ввели термины «интрагеоантиклиналь» и «интрагеосинклиналь». Мы уже говорили выше о выдвинутой В. В. Белоусовым теории развития геосинклиналей через инверсию тектонического режима. В противоположность этой теории, разработанной на примере Кавказа (сходные взгляды были высказаны В. И. Поповым на материале Памира и Р. В. Беммеленом для Индонезии), Н. С. Шатский и его сотрудники, опираясь на данные по Уралу и Центральному Казахстану, подчеркивали длительность развития геосинклинальных областей с унаследованностью структурами более поздних этапов более ранних структур.



А. Д. Архангельский

Существенным шагом вперед в теории геосинклиналей явилось также предложенное Г. Штилле (Stille, 1941) на материале Северной Америки и поддержанное американским исследователем Дж. М. Кэем разделение геосинклиналей на более внутренние зоны с интенсивным «начальным» магматизмом — эвгеосинклинали и более внешние зоны с отсутствием заметных его проявлений — миогеосинклинали.

В области учения о платформах ведущее значение сохраняли работы русских ученых — последователей А. П. Карпинского. Уже отмечалось, что в 1923 г. А. Д. Архангельский ввел понятие о плитах, еще раньше, в 1903 г. А. П. Павлов предложил термин «синеклиза» для крупных платформенных впадин, а в 1921 г. А. Н. Мазарович стал называть антеклизами крупные положительные структуры, равнозначные синеклизам. В русской литературе появился термин «вал» для обозначения линейных поднятий, осложняющих антеклизы и синеклизы (Архангельский, 1923). Частные поднятия, составляющие валы, Н. С. Шатский назвал плакантиклиналями, но этот термин не получил широкого распространения.

К 1933—1935 гг. относятся первые мелкомасштабные схемы тектонического районирования территории СССР. Из них наибольший успех имела схема А. Д. Архангельского и Н. С. Шатского, основанная на принципе

районирования по возрасту завершающей геосинклинальное развитие складчатости,— принципе, использованном ранее (в 1924 г.) Штилле при разделении Европы на Пра-, Палео-, Мезо- и Неоевропу, т. е. области с докембрийским, каледонским, герцинским и альпийским возрастом завершающей складчатости. Кстати, Н. С. Шатский уже в 1932—1935 гг. дополнил список основных планетарных эпох складчатости новой — байкальской эпохой на рубеже докембрия и палеозоя; несколько позже Г. Штилле выделил ту же эпоху под названием ассинтской.

Тектоническая схема Архангельского — Шатского послужила в дальнейшем основой для составления крупномасштабных тектонических карт Советского Союза, изданных в 1953 и 1956 гг. Последние, в свою очередь, явились образцом для создания под руководством Н. С. Шатского и А. А. Богданова Международной тектонической карты Европы (1962 г.), Тектонической карты Евразии (1966 г., главный редактор А. Л. Яншин) и постановки работ над Международной тектонической картой Мира.

Значительное место в работах тектонистов в 20—40-х годах заняла проблема хронологических закономерностей тектонических процессов, в частности складкообразования. Сначала, благодаря работам Г. Штилле, особенно его «Основам сравнительной тектоники» (Stille, 1924), казалось бы, прочно утвердилась точка зрения, что складкообразование происходило в истории Земли эпизодически, в определенные весьма кратковременные (сотни тысяч лет), но зато повсеместно проявленные фазы, именуемые орогеническими фазами. Штилле, как и Г.К. Джильберт, под термином «орогенез» понимал как горообразование, так и складчатость, считая их проявлениями одного и того же процесса. Единственным критерием установления орогенических фаз считались угловые несогласия в разрезе осадочных (или вулканогенных) толщ. Приведенный в книге Штилле список орогенических фаз (так называемый «канон Штилле») [1] получил широкую известность, и геологи разных стран устремились на поиски проявления этих фаз в изучаемых ими регионах.

Однако вскоре обнаружилась неполнота «канона Штилле» и было установлено множество новых фаз, в значительной мере заполнивших «анорогенные» промежутки «канона» (кембрий, девон, триас) и в определенной степени подорвавших представление об эпизодичности складкообразования. Кроме того, в середине 30-х годов советские геологи (Д. В. Наливкин, Н. С. Шатский и др.) показали, что угловые несогласия не могут считаться единственными показателями складкообразования, что если складки растут на дне бассейна, под покровом вод, их рост будет проявляться лишь в уменьшении мощностей и изменении фаций осадков к сводам антиклиналей (так называемая конседиментационная складчатость, по С. С. Шульцу). В противовес концепции Г. Штилле, которую он охарактеризовал как «неокатастрофистскую», Н. С. Шатский выдвинул представление о непрерывности и относительной медленности складкообразования, об отсутствии в этом процессе каких-либо фаз.

Однако в дальнейшем при участии Н. С. Шатского (1951) это представление было существенно модифицировано. Выяснилось, что процесс складкообразования, хотя и является длительным и практически непрерывным, характеризуется периодическим усилением и ослаблением. Причем более кратковременные (но миллионы, а не сотни тысяч лет) периоды его усиления, обычно сопровождающиеся образованием угловых и нередко азимутальных

---

[1] Первую попытку составить такой список предпринял в 1914 г. американский геолог Э. Блекуэлдер.

несогласий, могут быть охарактеризованы как фазы складкообразования (или, лучше, тектонические фазы, поскольку в эти периоды увеличивается и интенсивность других тектонических процессов). Они занимают более или менее определенное место в истории отдельных регионов, но в глобальном масштабе обнаруживают заметную миграцию во времени. Следует отметить, что и более общее представление об основных планетарных эпохах складчатости (или тектогенеза вообще), первоначально разработанное на относительно узкой базе материала по Западной Европе и отчасти Северной Америке, с накоплением данных по другим континентам также оказалось нуждающимся в существенной ревизии. Так, в истории важнейшего подвижного пояса планеты — Тихоокеанского кольца — главные эпохи тектогенеза приходятся на мезозойскую эру; напротив, проявления каледонского и герцинского тектогенеза здесь заметно ослаблены. Эти и аналогичные данные привели к выводу о метахронности основных эпох тектогенеза Атлантического и Тихоокеанского (а для докембрия — Лавразийского и Гондванского) сегментов Земли и даже к отрицанию некоторыми исследователями существования общепланетарных эпох тектогенеза (А. Л. Яншин, 1966 г.). Другие исследователи, признавая существование таких эпох, указывают вместе с тем на неравномерность и неполную синхронность их проявления в разных областях Земли.

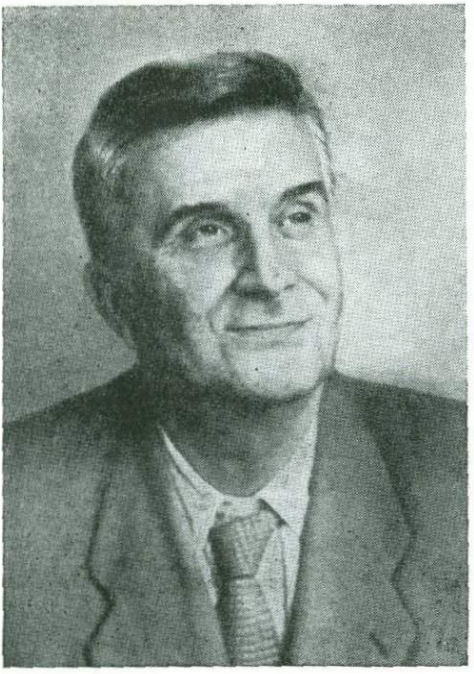


А. П. Павлов

В последние годы периодичность тектогенеза нашла свое подтверждение в статистике радиометрических определений возраста магматических пород (Г. Гэстил и др.— докембрий, М. М. Рубинштейн — фанерозой) и распределения в разрезе угловых несогласий (А. А. Пронин, на материале палеозоя), однако в целом проблема остается дискуссионной.

Где-то в середине или в конце 40-х годов проходила та трудноуловимая грань, за которой совершился переход геотектоники к следующему, уже современному этапу ее развития. Однако наступление такого нового этапа в общем совершенно очевидно и определяется следующими главнейшими обстоятельствами.

Во-первых, с этого времени геофизические методы достигли той ступени развития, которая позволяет осветить строение не только отдельных ограниченных участков в пределах верхней части земной коры, но и получить сведения о строении всей коры и даже верхов мантии на достаточно обширных пространствах как материков, так и океанов. Ведущим методом при этом стал метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), разработанный советским геофизиком Т. А. Гамбурцевым. Одним из важнейших результатов сейсмических исследований было установление в верхах мантии слоя пониженной вязкости (астеносфера, волновод, слой Гутенберга).



Н. С. Шатский

Во-вторых, в сферу тектонических исследований впервые были вовлечены огромные площади океанического дна; их рельеф изучался эхолотным методом, а структура коры — геофизическими методами (сейсмика, донная гравиметрия, магнитометрия, для осадочного слоя — сейсмоакустика). Развитие исследований дна океанов привело к одному из наиболее выдающихся открытий данного периода — к открытию мировой системы срединно-океанических хребтов. Основную роль в этом открытии сыграли американские ученые — М. Юинг и Б. Хейзен, но определенный вклад внесли и советские исследователи, открывшие арктическую ветвь срединно-океанических хребтов — хр. Гаккеля, и изучившие северную часть Срединно-Индоокеанского хребта и др. Очень большое научное значение имело обнаружение в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов выступов ультраосновных пород, рассматриваемых как поднятые блоки вещества верхней мантии (Г. Б. Удинцев).

В-третьих, большую роль сыграло развитие глубокого бурения в связи с поисками нефти, особенно специального опорного бурения, впервые примененного в нашей стране с целью освещения строения нижней части осадочного чехла платформ и осадочного выполнения предгорных и межгорных прогибов, а также состава и строения фундамента. В сочетании с геофизическими исследованиями, в особенности с сейсмическими профилями (метод преломленных волн—КМПВ), опорное бурение дало возможность за исключительно короткий срок осветить структуру обширных пространств Русской плиты, Западно-Сибирской впадины, Предкавказья, Закаспия, что повлекло за собой коренное изменение представлений о строении и развитии платформ — древних и молодых.

Новые представления о платформах были наиболее полно и ярко сформулированы в работах Н. С. Шатского. Им установлен принципиально новый тип платформенных структур—авлакогены—глубокие линейные прогибы, ограниченные разломами; выяснена сложность внутренней структуры платформ и существенные изменения их структурного плана при переходе от одного этапа (цикла) развития к другому. Ценным средством для изучения таких перестроек плана оказалось составление, по данным бурения, так называемых палеогеологических карт, впервые примененное в США А. И. Леворсеном и в СССР Н. С. Шатским.

Углубленное изучение платформ разного возраста дало возможность выявить существенные различия в строении и развитии древних, возникших еще в докембрии, и молодых платформ (Н. С. Шатский, А. Л. Яншин). Вторые отличаются большей степенью связи структуры фундамента и чехла, большей линейностью своих структур, большей общей подвижностью.

В-четвертых, введение в практику радиометрических методов определения возраста горных пород впервые в истории геологии открыло возможность объективного исследования тектонической истории докембрия, по своей длительности в шесть раз превышающей ранее изученную фанерозойскую историю. Это в свою очередь позволило поставить на научную основу разработку проблемы происхождения основных структурных элементов земной коры — геосинклиналей, платформ, континентов, океанов. Было выяснено, что платформы возникли еще на очень раннем этапе развития земной коры и что это развитие не может быть сведено к простому расширению площади континентальной коры за счет океанической, а континентальных платформ за счет геосинклиналей. Г. Штилле намечены крупнейшие этапы тектонической истории Земли: протогей, дейтерогей, неогей (мегахроны, по Н. С. Шатскому), на рубеже которых происходили «великие обновления» структуры коры («Umbruch»). Заложение геосинклинальных поясов неогея (позднего протерозоя и фанерозоя) произошло в значительной степени в результате раздробления ранее существовавших, сложившихся после альгомской (карельской) складчатости платформ. В дальнейшем много внимания особенностям тектонического развития земной коры в докембрии было уделено советскими тектонистами (Е. В. Павловский, Ю. М. Шейнманн и др.); соответственно была уточнена и периодизация докембрийской тектонической истории. Впрочем, работа в этом направлении отнюдь не может считаться законченной, поскольку радиометрическая изученность отдельных континентов еще остается очень неравномерной, и для установления первичного возраста пород приходится преодолевать ряд методических трудностей.



Г. Штилле

Радиометрические методы, все более разнообразные, использующие все большее число минералов и элементов, оказались важным средством не только для определения возраста пород, но и для расшифровки истории их последующих метаморфических изменений, естественно связанных с тектоническими событиями. Пионером использования радиометрических данных в тектонике был известный английский геолог А. Холмс, внесший как указывалось выше, большой вклад в разработку радиогеологии. В Советском Союзе в этой области особенно много сделали Э. К. Герлинг, А. П. Виноградов, А. И. Тугаринов, Н. П. Семененко; в США — Г. Гэстил и др.

Распространение историко-тектонического анализа на докембрий и углубленное изучение древних комплексов складчатых геосинклинальных систем фанерозоя дали возможность советским ученым наметить общий поступательный ход развития геосинклинальных поясов и земной коры в целом.

Для рассматриваемого этапа вообще характерно укрепление связей гео-

тектоники не только с геофизикой, но и с геохимией. Геохимия подводит основу под представления о происхождении и дальнейшем развитии коры путем дифференциации верхней мантии (В. Раби, А. Полдерварт, А. П. Виноградов); наиболее конкретной теорией этого процесса является теория зонной плавки мантии А. П. Виноградова (1962). Устанавливаются важные связи между петрохимией магматических, в особенности эффузивных, пород и тектонической обстановкой. Особенности магматизма все шире используются в тектонике в качестве одного из важнейших показателей типа тектонического режима.

Тесные связи установились также между геотектоникой и другой молодой наукой — литологией. Выяснилось, что тектонический режим оказывает глубокое влияние на гранулометрический и минералогический состав осадков, на степень их диагенетических и катагенетических изменений. По существу на рубеже геотектоники и литологии в нашей стране возникло учение о геологических формациях — крупных естественных сообществах осадочных горных пород, связанных закономерным сонахождением и определенным единством тектонических условий образования. Приуроченность отдельных формаций к определенным структурным элементам земной коры и к определенным стадиям их развития сделала формационный анализ одним из важнейших методов палеотектонического анализа, позволяющим проводить палеотектоническое районирование и восстанавливать ход тектонического развития отдельных регионов.

Для ряда геосинклинальных формаций («блестящие сланцы», флиш, молассы) их закономерная последовательность в связи с эволюцией геосинклиналей была отмечена еще в конце XIX в. М. Бертраном, но лишь в 40-е годы XX в. трудами советских геологов (Н. С. Шатский, Н. П. Херасков и др. и с несколько иных позиций В. В. Белоусов, Н. Б. Вассоевич и др.) была создана широкая теоретическая база для проведения формационного анализа в глобальном масштабе.

В последнее время в исследованиях специалистов по метаморфизму также обозначилась тенденция к выделению определенных типов регионального метаморфизма, увязанных с типом и стадиями тектонического развития геосинклинальных подвижных поясов. Соответственно намечается выделение метаморфических формаций в зависимости не только от термодинамических, но и от геотектонических условий (А. Миясиро, Б. Я. Хорева и др.).

Таким образом, на современном этапе формации выделяются как среди осадочных, так и среди магматических, вулканогенных и интрузивных (Ю. А. Кузнецов), а также метаморфических образований, обнаруживая тесную зависимость от типов тектонических режимов и тем самым давая ценный материал для их диагностики в геологическом прошлом.

Многие важные направления исследований, активно развивающиеся на современном этапе развития геотектоники, зародились еще на предыдущем этапе, но именно теперь получили настоящий расцвет. Это относится, в частности, к учению о глубинных разломах. Несмотря на то, что первые высказывания о существовании в земной коре весьма протяженных линий разломов, не связанных со складчатостью, относятся еще к XIX в. и что этой теме были посвящены в 10-х годах нашего столетия важные работы американского геолога У. Хоббса, введшего в литературу термин «линеамент», становление этого раздела геотектоники относится лишь к 40-м годам. Основное значение при этом имели работы Г. Клооса и Г. Штилле, швейцарца Р. Зондера, но особенно советских геологов А. В. Пейве, а также Н. С. Шатского и А. Н. Заварицкого. В известной работе А. В. Пейве (1945) дано наиболее полное определение понятия глубинных разломов как разломов большой протяженности, большой глубины заложения, длительности развития. Н. С. Шат-

ский и А. Н. Заварицкий, а также американские исследователи (Г. Беньоф и др.) подчеркнули особое значение «сверхглубинных» разломов периферии Тихого океана, с которыми связаны глубокофокусные землетрясения. В дальнейшем существование глубинных разломов, причем не только в пределах складчатых геосинклинальных областей, но и на платформах, было убедительно подтверждено геофизиками.

Открытие глубинных разломов имело большое принципиальное значение. Выяснилось, что земная кора имеет глыбовое строение; в настоящее время, после установления сейсмикой ее вертикальной расслоенности, следует говорить уже о слоисто-глыбовой структуре, причем некоторые исследователи (А. В. Пейве и др.) допускают, видимо, вполне справедливо, что относительные подвижки возможны не только по вертикальным, но и вдоль горизонтальных поверхностей раздела. Глубинные разломы контролируют распределение фаций и формаций осадочных пород, проявления магматической деятельности, размещение рудных месторождений. В отличие от «обыкновенных», т. е. коровых, разрывов, подчиненных складчатости, глубинные разломы сами во многом определяют распределение складчатых деформаций.

Особенно значительной оказалась роль глубинных разломов в структуре и развитии геосинклинальных областей, по существу представляющих собой пояса глубинных разломов. Новым в учении о геосинклиналях было также введение советскими исследователями (Н. С. Шатский, А. В. Пейве и В. М. Синицин, М. В. Муратов и др.) представления о направленности, стадийности их развития, созданного на основе изучения ранних этапов их истории. Эта направленность диалектически сочетается с выявленной ранее цикличностью, приводя к тому, что отдельные циклы (этапы) не являются простым повторением предыдущих, а отличаются от последних качественно новыми чертами — усилением дифференцированности внутренней структуры, нарастанием поднятий, уменьшением роли основного и увеличением роли кислого магматизма и др. Ценным вкладом в теорию геосинклиналей явились также книга французского геолога Ж. Обуэна «Геосинклинали» и работы швейцарца Р. Трюмпи, основанные на опыте изучения альпийских геосинклиналей Европы.

Другим важным новым направлением, получившим мощное развитие на современном этапе истории геотектоники, стала неотектоника. Почти вплоть до середины 30-х годов большинство геологов считало новейшую и современную эпоху — эпохой относительного тектонического покоя. Лишь к этому времени стала очевидной полная ошибочность такого представления. Советские исследователи (В. А. Обручев, Г. Ф. Мирчинк) отметили в своих работах, что в неогеново-четвертичное время произошло интенсивное горообразование в обширных районах Средней и Центральной Азии, на месте равнинных пространств, длительное время перед этим характеризовавшихся платформенным режимом развития. Было показано также, что как в Средней Азии, так и на Кавказе в конце неогена и четвертичное время продолжалось достаточно энергичное складкообразование. В 1948 г. В. А. Обручев ввел термин «неотектоника» для обозначения новейших движений и деформаций, вскоре получивший всеобщее признание. Советские геологи пришли к убеждению, что именно неотектоникой созданы основные черты современного рельефа земной поверхности. Это было наиболее убедительно показано в двух крупных монографиях—С. С. Шульца (1948) по анализу новейшей тектоники и рельефа Тянь-Шаня и Н. И. Николаева (1949) по новейшей тектонике Европейской части СССР.

После появления работ В. А. Обручева, Н. И. Николаева и С. С. Шульца в нашей стране, а с некоторым запозданием и за рубежом, возник огромный интерес к проблемам неотектоники. Быстрое накопление фактического ма-

териала дало возможность коллективу исследователей под руководством Н. И. Николаева и С. С. Шульца создать первую карту новейшей тектоники СССР в масштабе 1 : 5 000 000 (1960 г.). На этой карте показаны амплитуды новейших поднятий и опусканий; последние восстановлены путем применения метода анализа мощностей, первые — с помощью геоморфологических методов (анализ деформации поверхностей выравнивания и др.). На карте отражены также новейшие складчато-разрывные деформации. Для выявления новейших складок на равнинных территориях плит, передовых и межгорных прогибов с целью поисков нефтяных и газовых месторождений также стали широко использоваться различные геоморфологические методы. Эти специальные структурно-геоморфологические исследования были организованы в Советском Союзе по инициативе И. О. Брода. Вообще для рассматриваемого периода очень характерно органическое слияние геотектоники через неотектонику с геоморфологией (И. П. Герасимов, Ю. А. Мещеряков), в которой до этого господствовали представления об эрозионном происхождении основных форм рельефа. По примеру СССР карты новейшей тектоники в последние годы составлены для ряда других европейских стран, а в настоящее время составляется такая карта для всего Европейского континента.

Одновременно неуклонно расширяется работа по изучению современной тектоники. Использование данных повторных высокоточных нивелировок вдоль линий железных дорог и водомерных наблюдений в портах позволило группе под руководством Ю. А. Мещерякова составить первую карту современных движений для Европейской части СССР. Сейчас и эти исследования приобрели международный характер, а в нашей стране организовано три[1] специальных полигона для регистрации как вертикальных, так и горизонтальных движений (Крым, северный Прикаспий, зона сочленения Тянь-Шаня и Памира). В изучении современных горизонтальных движений наибольших успехов добились японские ученые, составившие карту распределения этих движений для всей южной части Японских островов.

Исследование новейшей и современной тектоники имеет для развития геотектоники в целом большое принципиальное значение, так как оно позволяет распространить метод актуализма, оказавшийся столь плодотворным в других областях геологических знаний, и на геотектонику.

Рассматриваемый этап развития геотектоники характеризуется также существенными успехами экспериментальной тектоники и созданием близкой к ней новой ветви науки — тектонофизики.

Хотя первые попытки экспериментирования в тектонике относятся еще к началу XX в., путь к моделированию тектонических деформаций был открыт лишь в 30—40-х годах нашего века с установлением так называемого критерия подобия. Было показано, что для компенсации кратковременности эксперимента, по сравнению с огромной длительностью геологических процессов, необходимо использовать при моделировании тектонических структур материалы значительно меньшей вязкости, чем естественные горные породы. Со времени установления этого принципа тектоническое моделирование стало успешно развиваться в СССР в основном благодаря усилиям В. В. Белоусова, М. В. Гзовского и И. В. Лучицкого, в Швеции Г. Рамбергом (Ramberg, 1967), а также в США и некоторых других странах.

Одновременно с моделированием на искусственных материалах ведется исследование деформации горных пород при высоких температурах и давлениях. Эти работы, проводившиеся в основном в США, где начало им положено классическими экспериментами Д. Григгса, также дали важные результаты, показав, в частности, высокую пластичность известняков в подобных усло-

[1] В период печатания этой книги их число возросло до 17.

виях, особые механические свойства серпентинитов и др. В последние годы определенные успехи достигнуты и в нашей стране (М. П. Воларович, Ю. Н. Рябинин и др.).

Тектонофизическое направление ставит своей основной целью приложение данных современной физики (механики твердых тел, реологии и др.) к объяснению механизма тектонических деформаций. В частности, проводится детальное изучение ориентировки мелких тектонических структур — разрывов, складок для восстановления полей тектонических напряжений, существовавших в период деформации (М. В. Гзовский). Дальнейшее развитие получила методика петроструктурного анализа (изучение ориентировки минералов в деформированных породах), предложенная австрийским геологом Б. Зандером еще в 20-х годах нашего века. В интересных работах американских ученых М. Хабберта и В. Раби выяснена большая роль давления поровых вод, а также явлений гидратации ангидрита и серпентинизации гипербазитов при образовании надвигов. Эти работы сделали гораздо более понятными условия возникновения шарьяжей со значительным горизонтальным перемещением сравнительно тонких пластин.

Несмотря на столь очевидные конкретные достижения геотектоники, а также на заметное пополнение арсенала ее методов и расширение горизонтов исследований и в пространстве и во времени, основные проблемы рассматриваемой науки еще не получили своего решения. Более того, как никогда раньше обострились споры между «вертикалистами» и «горизонталистами», между фиксистами и мобилистами, между исследователями, обращающимися в поисках источника тектонических движений к глубинам мантии, и теми, кто ищет этот источник вне нашей планеты.

Одно из главных и наиболее активно развивающихся направлений современной теоретической геотектоники заключается в исследовании связей между движениями и эволюцией земной коры и процессами в верхней мантии. Развитие этого направления вылилось в Международный проект изучения верхней мантии, осуществленный по инициативе и при руководящем участии советских ученых (В. В. Белоусов и др.). Уже геофизические исследования коры показали, что существует весьма полная корреляция между основными структурными элементами земной коры и основными типами ее состава и строения. В особенности велики различия в этом отношении между континентальными и океаническими сегментами земной коры. В дальнейшем выяснилось, что горизонтальная неоднородность распространяется и на верхнюю мантию и что плотность верхних горизонтов последней под зонами повышенной тектонической активности является закономерно пониженной. Положение верхней границы астеносферы (волновода) также существенно различно под океанами и континентами (выше в первом случае). Очень интересными и показательными оказались данные о распределении тепловых потоков — их резко повышенное значение в осевых зонах срединно-океанических хребтов и, напротив, сильно пониженное в областях щитов континентальных платформ и в зонах океанических желобов.

Все эти факты несомненно подтверждают тесную связь между развитием коры и процессами в мантии. Однако характер этой связи трактуется поразному. Некоторые геофизики (В. А. Магницкий, С. И. Субботин) усматривают в уплотнении или разуплотнении вещества мантии, вероятно сопровождаемом фазовыми превращениями, главную причину вертикальных движений коры. В интерпретации В. В. Белоусова главную роль здесь скорее играют частичное плавление и дифференциация вещества астеносферы с выделением базальта и подъемом «базальтовых» астенолитов; противоположную роль играет переход нижней части базальтового слоя коры в эклогит и погружение глыб эклогита. Сходные взгляды высказывают Р. В. Беммелен, австралийский ученый А. Е. Рингвуд и некоторые другие.

Другая школа исследователей, особенно многочисленная за рубежом, развивает представление о конвекционных течениях в мантии как основном факторе тектогенеза. Наиболее видными сторонниками этой концепции являются один из первых последователей Ампферера немецкий ученый Э. Краус, много потрудившийся для развития данной гипотезы и попытавшийся истолковать с ее позиций генезис всех складчатых горных сооружений мира (Kraus, 1951), известный голландский геофизик Ф. Венинг-Мейнес, канадский ученый Дж. Т. Вилсон, американские исследователи Г. Хесс, Р. С. Дитц и многие другие. Почти все приверженцы этой концепции в настоящее время являются одновременно и мобилистами, в то время как сторонники первой концепции придерживаются строго фиксистских установок (за исключением Р. В. Беммелена).

Пробным камнем для обеих гипотез является проблема происхождения океанов, ставшая ныне одной из важнейших, если не центральной проблемой геотектоники и оттеснившая на второй план даже проблему происхождения складчатости. В настоящее время подавляющее большинство исследователей, независимо от своей принадлежности к тому или иному теоретическому направлению, придерживается мнения о геологической молодости большинства океанических впадин, делая некоторое исключение только для Тихого океана, но также не считая его «первичным», т. е. существующим с самого начала становления земной коры.

В то время как фиксисты объясняют новообразование океанических впадин погружением континентальной коры и ее ассимиляцией мантией (гипотетический процесс океанизации, или базификации), мобилисты допускают растяжение коры и даже всей континентальной литосферы в соответствующих масштабах и формирование «вторичной» океанической коры в возникших раздвигах. Таким образом, современный мобилизм («неомобилизм») по крайней мере в двух отношениях отличается от «классического» мобилизма Вегенера — Тейлора: уровень горизонтального смещения переносится в кровлю астеносферы, а причины усматриваются большей частью в конвекции, в частности в расходящихся от оси срединно-океанических хребтов ветвях восходящих подкоровых течений. В современном варианте своей ундационной гипотезы Р. В. Беммелен считает, что разрыв континентальной литосферы и образование океанических «зияний» связаны с ее гравитационным соскальзыванием со склонов грандиозных вздутий, «мегаундаций», зарождающихся в нижней мантии. Предлагаются и несколько иные объяснения того же процесса (например, П. Н. Кропоткиным).

Одним из основных аргументов в пользу концепции неомобилизма его сторонники считают данные нового, появившегося лишь в последние полтора-два десятилетия метода палеомагнетизма. Этот метод, основанный на определении ориентировки остаточной намагниченности некоторых магматических и осадочных пород, приводит к двум важным выводам: 1) положение оси магнитного диполя, а следовательно, вероятно, и оси вращения Земли и экватора существенно изменялось в течение геологического времени; 2) данные о положении полюсов, полученные для одной и той же континентальной платформы, дают достаточно согласованные результаты, но для разных платформ положение полюсов расходится тем более, чем более раннюю эпоху мы берем. Последнее объясняется тем, что континенты некогда составляли единый массив, который в дальнейшем испытал дробление с расползанием отдельных обломков, превратившихся в самостоятельные материки. Некоторые исследователи истолковывают эти данные как доказательство существенного расширения Земли, считая, что континентальная кора первоначально одевала весь земной шар, а океаны образовались, при том в геологически недавнее время, за счет ее растяжения при увеличении радиуса Земли; такова точка зрения

венгерского геофизика Л. Эдьеда, американского геолога-океанолога Б. Хейзена и др. Таким образом, гипотеза расширяющейся Земли, выдвинутая на предыдущем этапе Хильгенбергом и другими приобрела на современном этапе ряд новых сторонников.

Вместе с тем результаты палеомагнитных исследований и особенно их истолкование в указанном смысле встречают далеко не единодушное признание. Сомнения вызывают и стабильность остаточной намагниченности, и сохранение дипольности магнитного поля Земли, и точность определения координат, и дальнейшие построения палеомагнитологов. Тем не менее накопление новых данных и ревизия старых приводят специалистов к подтверждению выводов о миграции полюсов и дрейфе континентов, свидетельствуя вместе с тем против значительного расширения Земли в фанерозое.

Наряду с данными палеомагнетизма неомобилисты используют и ряд других аргументов в пользу дрейфа материков— как старых (позднепалеозойское оледенение и сходство древних наземных фаун и флор материков гондванской группы), но подкрепленных новыми материалами, так и принципиально новых (совпадение структуры докембрийского фундамента краев этих материков, закономерное удревнение возраста вулканических островов и основания осадочного слоя коры в направлении от срединно-океанических хребтов к континентам, а также полосатый, параллельный оси срединно-океанических хребтов рисунок магнитных аномалий океанического дна, характер смещений коры и верхней мантии при землетрясениях, устанавливаемый сейсмологией). Основными же аргументами противников мобилизма являются постоянство положения уходящих нередко глубоко в мантию разломов и связанных с ними геосинклинальных систем и примерное равенство тепловых потоков континентальных и океанических площадей, рассматриваемое как доказательство былого существования «гранитного» слоя на площади современных океанов. Впрочем, оба эти факта находят свое удовлетворительное объяснение и с позиций мобилизма.

В последние годы большую популярность завоевала выдвинутая американскими исследователями Г. Хессом (Hess, 1962) и Р. Дитцем (Dietz, 1961), а также канадским геофизиком Дж. Т. Вильсоном в развитие идей Вегенера и Холмса гипотеза расползания (spreading) океанического дна. В этой гипотезе осевые зоны срединно-океанических хребтов рассматриваются как зоны растяжения (раздвига), в обе стороны от которых дно океана движется наподобие конвейера под влиянием подкоровых конвекционных течений и где этот процесс компенсируется возникновением новой океанической коры. Свое подкрепление данная гипотеза видит в приуроченных к хребтам полосовых аномалий магнитного поля, одинаковая последовательность которых по обе стороны хребтов увязывается (Vine, 1966) с чередованием эпох с прямым и обратным магнитным полем Земли в кайнозое (прямое поле соответствует современному знаку полюсов, обратное — смене их знака). На основании картины распределения магнитных аномалий некоторые английские и американские исследователи попытались в последнее время восстановить в деталях и цифрах историю «раскрытия» Атлантического и Индийского океанов с начала мезозоя.

Серьезной проверкой этих построений явилось предпринятое американцами в 1968 г. в Атлантическом и продолженное в 1969 г. в Тихом океане бурение со специального экспедиционного судна «Гломар Челленджер» так называемых первого и второго слоев океанической коры. Первые результаты этого бурения подтвердили закономерное понижение возраста кровли «базальтового» слоя и перекрывающих его осадков от краев океана к оси срединных хребтов. Они показали также хорошую сходимость возраста кровли базальтов с возрастом, предсказанным по магнитным аномалиям. Все это го-

ворит в пользу гипотезы расползания океанического дна и мобилизма вообще, но следует признать, что указанные факты могут быть истолкованы и иначе. Для окончательных выводов необходимо дождаться, когда будет вскрыто основание осадочного слоя в периферических частях океанов, что позволит установить время начала их формирования, а также «базальтового» слоя срединных хребтов на большую глубину, чтобы выяснить, не переслаиваются ли они с осадками.

Наряду с проблемой океанов и природой глубоких слоев тектоносферы существенное значение для построения общей теории тектогенеза сохраняет и проблема происхождения геосинклиналей, складчатости и особенно шарьяжей. Старое узкоконтракционистское толкование их генезиса ныне уже никого не удовлетворяет, но большинство современных исследователей вновь приходит к заключению, подтверждаемому данными сейсмологии о характере напряжений в очагах землетрясений, об образовании складчатых сооружений в условиях общего сжатия, возможно, компенсируемого растяжением в их тылу и форланде. Вместе с тем высказываются интересные мысли о возможной связи складкообразования с региональным метаморфизмом, вызывающим увеличение объема горных пород.

С точки зрения споров между «горизонталистами» и «вертикалистами» большое значение имеет еще проблема крупных горизонтальных сдвигов (глубинных сдвигов) типа разлома Сан-Андреас в Калифорнии, Таласско-Ферганского в Средней Азии и др. Твердо доказанная амплитуда этих сдвигов измеряется десятками километров, горизонтальные смещения по ним происходят и в современную эпоху, но остается открытым вопрос о более ранних подвижках и о суммарной амплитуде перемещений, оцениваемых некоторыми исследователями во многие сотни, а для предполагаемых по рисунку магнитных аномалий океанических сдвигов — более тысячи километров.

В общем же следует констатировать, что геологические и геофизические открытия последних лет принесли больше аргументов в пользу мобилизма, чем фиксизма. Этим и надо объяснить резко возросшую в 60-х годах популярность идей мобилизма среди геологов всех стран. Вместе с тем вряд ли будет правильным ожидать, что одна из этих концепций полностью вытеснит другую. Наиболее сильной стороной взглядов противников мобилизма является справедливо подчеркиваемая ими длительная унаследованность развития основных структурных элементов земной коры. Очевидно, должно быть найдено такое решение дилеммы, в котором периодическое и относительно кратковременное оживление горизонтальных перемещений континентальных глыб будет признаваться наряду с их длительным унаследованным развитием под влиянием преимущественно вертикально направленных движений.

Итак, в области теоретической геотектоники, составляющей очень важное и ответственное звено теоретической геологии в целом, мы находимся лишь на подступах к созданию общей тектонической теории и вынуждены преодолевать многие трудности, порождаемые недостаточным знанием геологии дна океанов, глубинной структуры тектоносферы и пр. Несмотря на это, геотектоника существенно помогла становлению и развитию многих новых ветвей геологии — литологии, геоморфологии, металлогении и других и активно способствует решению практических задач, как, например, составлению карт прогноза нефтегазоносности, прогнозно-металлогенических карт, карт инженерно-геологического районирования, изучения структуры месторождений и рудных полей и т. п.

Выход человека в космос, начало изучения других планет Солнечной системы даст геотектонике новый важный материал и, вероятно, приведет в дальнейшем вместе с осуществлением проектов сверхглубинного бурения к новому качественному скачку в ее развитии.

Уже в первую половину прошлого века был накоплен довольно большой и верный запас сведений о составе, свойствах и происхождении осадочных горных пород. Об этом ясно свидетельствуют обобщающие работы по геологии первой половины и середины прошлого века: Ч. Лайеля (1830 г. и др.), К. Наумана (1850 г. и др.), Д. И. Соколова (1839 г. и др.). Так, уже в «Основах геологии» Лайеля мы находим разделение осадочных пород на песчаные, глинистые, известковые и другие, причем дано правильное объяснение их происхождения. Например, в отношении глин указано, что это «...есть не что иное, как ил, происходящий от разложения и размельчения пород». В «Курсе геогнозии» Соколова говорится, что «...глина вообще есть продукт разложения полевого шпата» и т. д. В работе Лайеля описана и правильно истолкована горизонтальная и косая слоистости и ряд других признаков осадочных пород. Генетическая расшифровка осадочных пород и их комплексов особенно успешно развивалась после введения и использования понятия о фациях (A. Gressly, 1838—1841) и к середине XIX в. стояла уже на довольно высоком уровне. Однако вопрос о самостоятельной науке об осадочных породах в то время еще не ставился.

Вторую половину прошлого века следует рассматривать как время, когда геология, а в ее составе и все, что относится к осадочных породам, развивалась особенно быстро. Этому содействовало и начавшееся использование поляризационного микроскопа в исследовании осадочных пород, введение механического анализа, основанного на разной скорости падения в воде частиц разной крупности, разделение минералов по удельному весу и ряда других методов. Над разработкой и внедрением этих методов трудились ученые разных стран; особенно большая роль принадлежит английскому ученому Г. К. Сорби.

Несомненно, что очень большое значение для развития литологии, как и других разделов геологии, сыграли океанографические исследования английской экспедиции на корабле «Челленджер» (1872—1876 гг.), давшие первые сведения о составе и распространении океанических осадков. Результаты изучения последних были обработаны и опубликованы английскими учеными Д. Мерреем и А. Ренаром (1884, 1891, 1894 гг.). Именно тогда геологи узнали о красной глубоководной глине и заключенных в ней железо-марганцевых конкрециях, о глобигериновом иле и т. д. Эти сведения помогли сравнению древних пород с современными осадками, а следовательно, и правильному генетическому истолкованию древних пород и свойственных им признаков.

Примерно в это же время в разных странах появились работы, посвященные типичному осадочному минералу— глаукониту. Интерес к нему был вызван, во-первых, его широким распространением, а во-вторых, бросающимися в глаза особенностями— обычно ярким зеленым цветом, своеобразным составом и свойствами, не похожими на свойства большинства минералов магматического происхождения. У нас специальное исследование посвятил глаукониту почвовед К. Д. Глинка (1896), но пришел к ошибочному мнению об обломочном его происхождении во всех осадочных породах.

В конце XIX в. вышла в свет важная работа немецкого ученого И. Вальтера (Walther, 1893—1894), оказавшая существенное влияние как на зарождавшуюся науку об осадочных породах, так и на многие другие ветви геологии. Вальтер и в других, как более ранних, так и более поздних своих работах рассматривал некоторые литологические проблемы, но в третьей части этой монографии, названной «Введение в геологию как историческую науку», он подвел итог всем накопленным к тому времени сведениям по составу и условиям формирования современных осадков во всех климатических зонах

как на суше, так и в океанических глубинах. Эти данные он считал основой для понимания закономерностей состава, строения и распространения древних осадочных пород; он явился основоположником сравнительной литологии — направления, получившего впоследствии развитие в трудах многих ученых, в нашей стране особенно в работах А. Д. Архангельского, а затем Н. М. Страхова. Кроме того, Вальтер подробно рассмотрел проблему фаций и установил правило, управляющее соотношением фаций на площади и по вертикальному разрезу, вошедшее в науку под названием «закона Вальтера». Элементы этого правила высказывались, впрочем, раньше и другими учеными, в частности русскими геологами Н. А. Головкинским (1869) и А. А. Иностранцевым (1872).

В 90-х годах прошлого века А. П. Павлов наряду с другими вопросами разработал представление о генетических типах материковых образований и выделил новый их тип — делювий (1888), а позже и пролювий.

В конце XIX в. было собрано очень много петрографических сведений о большинстве осадочных пород, причем эти сведения во многом уже тогда соответствовали современным знаниям об этих породах. Так, например, во втором издании учебника петрографии Ф. Циркеля (Zirkel, 1894) описанию осадочных пород посвящено около 350 страниц (том 3, стр. 426—784), а кроме того, и в первом томе имеются сведения о некоторых общих признаках осадочных пород. Примерно в это же время во Франции была опубликована монография Л. Кайе (Cayeux, 1897), посвященная описанию мезозойских и третичных, главным образом обломочных и кремнистых пород Парижского бассейна, основанному их на тщательном микроскопическом изучении. Превосходные зарисовки в атласе этой монографии позволяют наглядно сравнивать породы Франции с соответствующими породами других стран, в частности Русской платформы, и видеть черты как сходства, так и различия между ними. В этой же монографии дается сравнение некоторых пород с современными глобигериновыми илами, а также обрисованы условия, существовавшие в меловом море Франции.

Таким образом, к концу XIX в. накопилось много сведений, касающихся осадочных пород и современных осадков. Были разработаны и нашли применение специальные методы исследования состава и свойств осадков и осадочных пород. Всем этим была подготовлена основа для выделения самостоятельной науки об осадочных породах. Но произошло это только в следующем веке, и то не в самом его начале.

В начале XX в. продолжалось энергичное исследование осадочных пород и процессов, связанных с их формированием. Несомненно, это было вызвано ростом потребности во всех странах, а особенно в наиболее развитых, продуктов, добываемых из осадочных пород и непосредственно с ними генетически связанных. Кроме угля, строительных материалов, рудного сырья и т. п., особенно резко начал расти спрос на нефть и продукты ее переработки в связи с все более увеличивавшимся производством двигателей внутреннего сгорания.

Из наиболее выдающихся работ этого времени следует отметить продолжавшиеся исследования Кайе осадочных пород Франции. Им было опубликовано несколько монографий, посвященных отдельным группам осадочных пород, а также сводные работы (Cayeux, 1916, 1931, 1935).

В США вышла монография А. В. Грэбо (Grabau, 1913) «Принципы стратиграфии». В значительной мере она посвящена осадочным породам, причем главным образом не столько с петрографической, сколько с генетической точки зрения. В ней дается обстоятельное рассмотрение условий и обстановок формирования осадочных пород и тех процессов, которые при этом протекают. Такое направление развития литологии получило дальнейшее разви-

тие в опубликованной в 1925 г. в той же стране другой обобщающей работы: монографии У. Х. Твенхофела с сотрудниками. Второе издание этой работы, вышедшее в 1932 г. было переведено на русский язык (Твенхофел, 1936). В ней на более современном материале, по сравнению с монографией Грэбо, рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся осадочных пород, причем значительное внимание уделено условиям среды и процессам формирования осадков и образующихся из них пород. Вообще значение проблем, имеющих прямое отношение к осадочным породам, накопление в этой области все большего материала, необходимость его систематизации и генетического осмысливания уже ясно ощущались в рассматриваемом периоде. Появилась также и необходимость в стимулировании наиболее важных исследований. В США, в отличие от европейских стран, не пострадавших от первой мировой войны, это нашло и организационное выражение. Там в 1919 г. при Национальном исследовательском совете был организован «Комитет по седиментации» (the Commitee on Sedimentation). В его задачу входила поддержка литологических исследований, публикация сводных работ и монографий по литологии. С его помощью была организована и постановка самостоятельного преподавания литологии в некоторых университетах.

Из работ русских и советских ученых рассматриваемого периода следует отметить исследования А. Д. Архангельского (1912) меловых пород Поволжья, ряд работ Я. В. Самойлова (1929 и др.), посвященных главным образом выявлению роли организмов при формировании осадочных пород.

Несмотря на первую мировую и гражданскую войны, уже через несколько лет после Великой Октябрьской социалистической революции наука об осадочных породах стала в СССР на путь самостоятельного развития. В 1922 г. в Московском университете и Московской горной академии были организованы самостоятельные курсы петрографии осадочных пород, чтение которых было поручено М. С. Швецову. С тех пор эта наука в нашей стране, как и за рубежом, стала развиваться в качестве самостоятельной ветви геологии. Характерно при этом, что эта новая наука выделилась на основе стратиграфии, изучения современных осадков и процессов их образования, региональной геологии и учения о полезных ископаемых, т. е. на геологической основе, а не как ветвь петрографии магматических пород.

Процесс образования науки об осадочных породах находит свое выражение в разных странах. В 1931 г. Американское общество палеонтологов и минералогов основало самостоятельный журнал по осадочным породам (Journal of Sedimentary Petrology). С тех пор он регулярно выходит до настоящего времени. Там же в 1932 г. вышло в свет второе издание упомянутой выше обширной сводки по осадочным породам Твенхофела с соавторами, ясно отразившее состояние этой науки в Соединенных Штатах к тому времени, главные тенденции ее развития, направленные на все более углубленное изучение самих осадочных пород, а также на выявление генетических связей между веществом этих пород, свойственными им структурными и текстурными признаками и другими свойствами, с одной стороны, и условиями среды осадконакопления, с другой. Д. Ж. Уэллером (Weller, 1930) была подробно разработана теория циклической седиментации в паралических угленосных толщах Северо-Американской платформы и доказана зависимость строения угленосного разреза от колебательных тектонических движений. После этого подобные закономерности строения угленосных толщ стали обнаруживать и во многих других толщах, как в США, так и в Европе.

В европейских странах наука об осадочных породах также продолжала развиваться. Во Франции, как уже отмечалось, публиковались обстоятельные монографии Кайе. В Голландии начиная с 1925 г. регулярно собирались международные съезды, посвященные вопросам стратиграфии, геологии и петро-

графии карбона. Труды этих съездов имели большое значение для развития новой ветви в науке об осадочных породах — угольной петрографии, особенно успешно развивавшейся также в нашей стране Ю. А. Жемчужниковым (1935). Продолжалось изучение современных осадков, осуществляемое океанографическими экспедициями разных стран, которые существенно пополнили сведения, полученные первой экспедицией на корабле «Челленджер» еще в конце прошлого века.

В начале 30-х годов немецкий ученый В. Гольдшмидт осветил вопросы разделения химических продуктов выветривания в ходе осадочного процесса под влиянием различий в окислительном потенциале и в концентрации водородных ионов природных вод. Эта идея о химической осадочной дифференциации была впоследствии подробней разработана советским ученым Л. В. Пустоваловым.

Во второй четверти XX в. сильно выросла методика лабораторного изучения осадочных пород. В частности, с успехом был применен метод термического анализа, оказавшийся особенно плодотворным применительно к глинистым породам. Рентгеновский анализ позволил проникнуть внутрь вещества глинистых минералов и окончательно убедиться в их закономерном кристаллическом строении. Был внесен ряд усовершенствований в старые методы механического анализа и минералогических исследований обломочных минералов.

Наиболее интенсивное развитие наука об осадочных породах получила в рассматриваемом периоде в СССР.

Еще в 1924 г. на Черном море начала работы гидрологическая экспедиция, продолжавшая исследования до 1932 г. Донные осадки, полученные этой экспедицией, были обработаны А. Д. Архангельским и Н. М. Страховым, и результаты опубликованы в 1938 г. Эта работа имеет и до сих пор важное значение для правильного понимания процессов формирования осадков в водоемах черноморского типа. В 1932 г. в опубликованной А. Н. Заварицким книге «Введение в петрографию осадочных пород» подчеркнута принципиальная разница между осадочными и изверженными породами, а опубликованный в 1934 г. (1-е издание) учебник М. С. Швецова «Петрография осадочных пород» явился вполне оригинальной работой, представляющей широкий обзор сведений о составе и происхождении всех главных групп осадочных пород (Швецов, 1958).

Исследования, посвященные анализу терригенных компонентов осадочных пород и выяснению их палеогеографического значения, были выполнены В. П. Батуриным (1937) и его учениками. Важные общие закономерности распределения осадочных пород в земной коре были выявлены Л. В. Пустоваловым в двухтомной книге «Петрография осадочных пород» (1940). Согласно представлениям Л. В. Пустовалова, имеется два главных фактора, контролирующих распределение осадочных пород: поверхностная осадочная дифференциация вещества — механическая и химическая и периодичность осадкообразовательного процесса. С выходом в свет этой работы наука об осадочных породах вступила в новый этап — она становится наукой синтетической, выявляющей закономерности состава и распределения осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых, а также объясняющей эти закономерности.

Л. В. Пустоваловым было ясно показано, что совместное действие тектонических причин (определяющих периодичность осадкообразовательного процесса) и внутренних свойств вещества во взаимодействии с окружающей средой — ее физическими и химическими показателями, вызывающие осадочную дифференциацию вещества, определяют состав и фактическое размещение осадочных пород в стратисфере (осадочной оболочке Земли). Таким

образом, появилась возможность не только регистрировать наличие в этой оболочке тех или иных видов осадочных пород, но и предсказывать их возможное местонахождение, а следовательно, и появление связанных с ними полезных ископаемых.

После окончания Великой Отечественной войны теоретическая работа в области литологии развернулась в СССР с новой силой. Тогда проявился ряд слабых сторон в изложенных представлениях о закономерностях распределения осадочных пород, но основная разработка более верных взглядов приходится уже на вторую половину XX в.

Современный этап развития литологии характеризуется дальнейшим проникновением как в глубь вещественного состава осадочных пород и других их характерных особенностей, так и расширением и уточнением теоретических представлений относительно их распространения и закономерностей формирования в условиях земной поверхности и преобразования в недрах. При этом можно наметить несколько главных направлений развития науки. Прежде всего это успешное углубленное изучение состава глинистых пород и строения слагающих их глинистых минералов. Наибольшие успехи в этой области достигнуты благодаря широкому применению рентгеноструктурного анализа. Ведущая роль в этих видах работ принадлежит американским ученым. Уже к середине текущего столетия ими была предложена принципиально новая схема классификации глинистых минералов, основанная на особенностях внутреннего строения кристаллического вещества этих минералов. Такова, в частности, классификация Р. Гримма (Grimm, 1953), получившая широкое признание также в СССР (Швецов, 1958). В настоящее время это направление усиленно и успешно разрабатывается учеными ряда стран, особенно американскими и советскими (А. Г. Коссовская, В. Д. Шутов и др.). Успешному изучению глинистых пород и минералов, наряду с рентгеновскими методами, весьма содействовало и широкое применение электронного микроскопа. Оно было начато еще на предыдущем этапе, но в рассматриваемом периоде этот метод получил массовое распространение.

Другой характерной особенностью современного этапа, в частности в изучении вещественного состава осадочных пород, является все более широкое стремление к точным количественным характеристикам изучаемых признаков пород. Одни только качественные показатели уже давно перестали удовлетворять геологов, занимающихся осадочными породами, и тем более литологов. Однако только в последние 15—20 лет, опять-таки с внедрением новых методов, количественные характеристики начинают получать необходимую степень обоснованности. При этом большие надежды возлагаются литологами всех стран на возможности использования математического аппарата и соответствующей новой техники. Но пока вполне очевидных положительных результатов от применения математической техники для многих сторон литологических исследований еще не получено.

Следующее важное направление современного этапа — это исследование диагенетических процессов, их продуктов и последующих, вторичных изменений осадочных пород (процессов эпигенеза или катагенеза). Большое внимание к этим процессам, проявленное литологами многих стран, объясняется не только слабой изученностью этих сторон литологии в прошлом, но главным образом тем, что все яснее выявляется исключительная роль этих процессов при формировании многих видов минерального сырья, в частности важных рудных месторождений.

В Советском Союзе выдающееся значение в разработке проблем эпигенеза имели исследования А. В. Копелиовича, показавшего в ряде своих работ конкретный ход вторичных изменений главным образом на обломочных (песчаных) породах. Им же были показаны и пути перераспределения рудных

компонентов в процессе эпигенеза. Вторичные преобразования глинистых пород изучаются в СССР А. Г. Коссовской, В. Д. Шутовым, Н. В. Логвиненко и рядом других исследователей.

Изучение современных осадков и процессов их формирования — еще одно важное направление современного этапа. Это изучение осуществляется в самых различных физико-географических условиях и разных климатических зонах, как в морях и океанах, так и на суше. Немалую долю этих исследований проводят советские литологи.

В частности, крупные исследования выполнены на экспедиционных судах «Витязь», «Обь», а также в связи с международными работами по изучению Антарктиды и омывающих ее морей. В результате советскими учеными составлены новые карты современных океанических осадков, как для Мирового океана, так и для отдельных его частей. Особенно известны работы П. Л. Безрукова, А. П. Лисицына, В. П. Петелина. Осадки внутренних и окраинных морей СССР также изучаются крупными коллективами под руководством М. В. Кленовой, В. П. Зенковича, Н. М. Страхова и др.

Исследование метаморфических пород, в первую очередь пород докембрийского возраста, также характеризует современное направление литологии. Правда, еще в 1943 г. в США была опубликована содержательная работа, посвященная литологии древних метаморфических пород Канадского щита (Pettijohn, 1943), но только в послевоенные годы эти исследования получили широкий размах, особенно в СССР (А. В. Сидоренко и др., 1961).

Еще одним направлением, также получившим широкий размах в последние 10—15 лет, является углубленное и всестороннее исследование вулканогенно-осадочных пород. Занимая промежуточное положение между собственно изверженными породами и чисто осадочными, эти вулканогенно-осадочные образования в значительной степени оставались за пределами внимания как специалистов, занимавшихся изверженными породами, так и литологов. В настоящее время, однако, отношение к этим породам изменилось, что связано не только с выявившейся их большой ролью в сложении литосферы, но и с теми разнообразными полезными ископаемыми, которые с ними связаны.

Геохимия осадочных пород и процессов осадкообразования была заложена еще на предыдущих этапах развития литологии трудами ученых разных стран: В. И. Вернадского, В. М. Гольдшмидта, А. П. Виноградова и др. Но только на современном этапе это направление получило широкое развитие и успешно разрабатывается также советскими литологами и геохимиками.

В СССР геохимические работы по литологии осуществляются широким фронтом. В них принимают особенно деятельное участие геологи-нефтяники, так как превращение органического живого вещества в нефть есть в основном геохимический процесс. Среди этих работ необходимо отметить исследования Н. Б. Вассоевича, Г. И. Теодоровича. Геохимия формирования месторождений солей изучалась М. Г. Валяшко, Я. Я. Яржемским и др.; геохимия кор выветривания исследовалась И. И. Гинзбургом, и эти работы продолжаются его многочисленными учениками и соратниками. Широко проводятся также работы в области геохимии отдельных соединений и химических элементов. Общие закономерности изучаются А. Б. Роновым и др.

Разработка общей теории литогенеза, т. е. выявление и анализ общих закономерностей формирования и размещения осадочных пород, принадлежит также к одному из важнейших направлений современного развития литологии. При этом можно с основанием заметить, что ведущее место в этом отношении занимает советская наука. Выдающаяся роль принадлежит Н. М. Страхову. Разрабатываемая им теория литогенеза (Страхов, 1960—1962) не толь-

ко преодолела ряд слабых сторон в соответствующих представлениях Л. В. Пустовалова, но и подняла эту проблему на гораздо более высокий уровень.

Основное содержание взглядов Н. М. Страхова заключается в том, что на процессы литогенеза оказывают совместное влияние два главных фактора: климатическая обстановка, с одной стороны, и тектонический режим, с другой. В соответствии с этим им выделено и подробно характеризовано четыре основных «типа литогенеза»: ледовый, гумидный, аридный и вулканоосадочный. Три первых определяются прежде всего климатом, а четвертый контролируется тектоническими зонами земной коры и поэтому является аклиматическим. Кроме того, Н. М. Страховым подробно рассмотрена эволюция типов литогенеза в ходе геологической истории и показаны как необратимые черты этого процесса, так и явления повторяемости или периодичности в нем.

Общим вопросам литологии много внимания уделено Л. Б. Рухиным. В наиболее известной из его работ «Основы литологии» (1953, 1961) рассматриваются основные группы осадочных пород, стадии и условия их образования, фации и методы фациального анализа, осадочные формации, причем большинство этих вопросов рассматривается на широком теоретическом уровне.

Следует отметить также еще одну характерную черту современного этапа, заключающуюся в усилении международных связей литологов. Последнее нашло выражение в организации в 1952 г. Международной ассоциации по седиментологии. Эта ассоциация периодически проводит международные конгрессы, причем с 1958 г. в их работе начали принимать активное участие литологи Советского Союза. С 1962 г. выходит в свет журнал этой ассоциации — «Седиментология». С 1963 г. в СССР начал также выходить журнал, посвященный осадочным породам — «Литология и полезные ископаемые». На сессиях Международных геологических конгрессов регулярно работают секции, посвященные осадочным породам и вопросам их генезиса.

Быстрое развитие литологии связано с той большой ролью, какую имеют полезные ископаемые осадочного происхождения. В Советском Союзе уделяется большое внимание изучению осадочных полезных ископаемых и их соотношениям с вмещающими породами. В частности Н. М. Страховым, кроме разработки общих вопросов литогенеза, много внимания уделялось и осадочным рудам железа и марганца; Б. М. Гиммельфарб и Г. И. Бушинский изучали фосфоритовые руды; проблеме генезиса и закономерностям распространения бокситов посвятили исследования Ю. К. Горецкий и Г. И. Бушинский; глинами занимаются крупные коллективы под руководством В. П. Петрова и целого ряда других исследователей. Много внимания уделяется, особенно в последние годы, осадочным рудам меди и цветных металлов; изучается также литология россыпей.

В интенсивно разрабатываемом учении об осадочных формациях советские литологи стремятся найти решение вопросов об общих закономерностях размещения полезных ископаемых в осадочной оболочке Земли.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Большое значение в дальнейшем развитии палеогеографии, несомненно, принадлежало опубликованному Э. Зюссом (Suess, 1883—1909) «Лику Земли», в котором содержится глубокое обобщение накопленных к началу текущего столетия материалов по региональной геологии всех континентов. Анализируя геологическую историю, Э. Зюсс нарисовал стройную картину условий возникновения континентов, попытался наметить общие закономер-

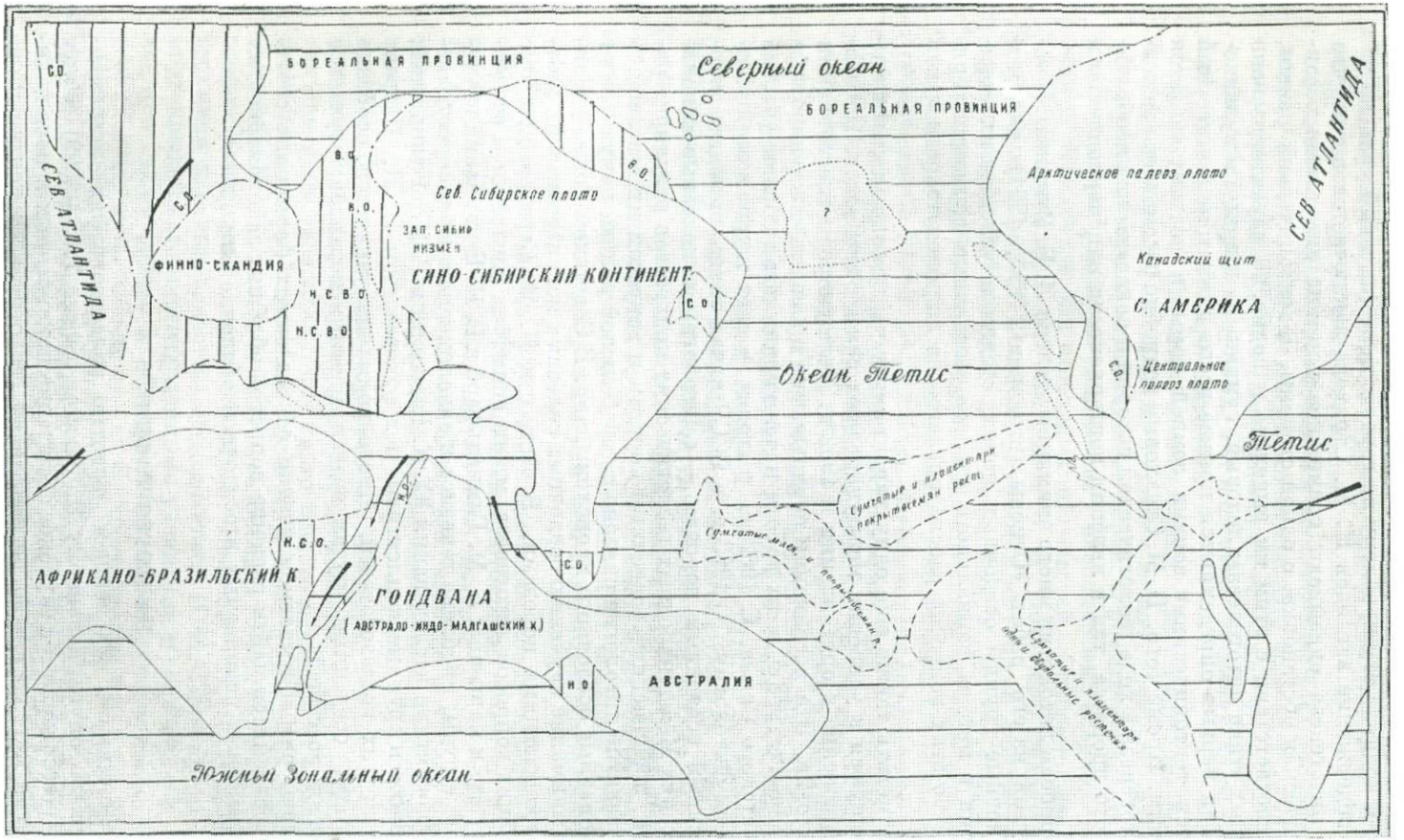


Рис. 11. *Планетарная палеогеографическая карта, составленная И. Д. Лукашевичем (1911) для поздней юры (портландский век)*

1 — океаны; *2* — морские трансгрессии на континентах; *3* — границы распространения юрских отложений; *4* — суша юрского бассейна, представленная островами; *5* — направления миграции морской фауны; н. о.— нижний оолит; с. о.— средний оолит; в. о.— верхний оолит

ности образования гор, довольно подробно остановился на истории трансгрессий и регрессий планетарного значения, начиная с палеозоя, хотя и не дал палеогеографических карт.

Следующий шаг вперед был сделан французским геологом Э. Огом (Haug, 1907—1911), который в известной книге «Геология» впервые выделил на мировых палеогеографических картах отдельных периодов геосинклинали и платформы, показав распределение морей в пределах этих областей.

В 1908—1911 гг. была опубликована трехтомная монография «Неорганическая жизнь Земли», И. Д. Лукашевича, который на основе своих представлений и уже имевшихся сводных работ А. П. Карпинского, М. Неймайра, Э. Зюсса, А. Лаппарана, Э. Ога составил планетарные палеогеографические карты-схемы для альгонка, кембрия, позднего силура, девона, раннего карбона, поздней перми, позднего триаса, поздней юры, раннего мела и позднего мела, эоцена, миоцена, плейстоцена. На этих картах, помимо общих очертаний материков и океанов, отражены распространение древнейших оледенений, характер областей сноса, палеобиологические особенности о некоторых организмах, направления миграции фауны и флоры, а также границы распространения трансгрессий на континентах (рис. 11).

И. Д. Лукашевич (1911), видимо, первый из русских геологов выделил палеогеографию в качестве самостоятельной отрасли знаний, находящейся как бы на стыке геологии и географии. Он подчеркивал, что в исторической геологии факты группируются в основном по времени, а география систематизирует наблюдения, проводимые в конкретных районах земной поверхности. В палеогеографии же сочетаются категории пространства и времени. Кроме того, создается реальная возможность реконструкции прошлого Земли путем всестороннего изучения современности.

В самом конце XIX в. и начале XX в. были опубликованы классические исследования Н. И. Андрусова, посвященные геологической истории замкнутых неогеновых бассейнов Понто-Каспийской области. Методическая ценность их заключается в том, что, развивая идеи В. О. Ковалевского — одного из основоположников палеогеографического направления в стратиграфии, Н. И. Андрусов стал пионером палеоэкологического направления в палеогеографии. С выходом в свет серии работ Н. И. Андрусова, Н. Н. Яковлева, а также «Этологической палеонтологии» Л. Долло (Dollo, 1909) и «Основ палеобиологии позвоночных» О. Абеля (Abel, 1912) была сделана серьезная заявка на право существования палеоэкологии как науки.

Ч. Шухерт (Schuchert, 1910) опубликовал «первый опыт палеогеографии» для территории Северо-Американской платформы, составив 46 карт-схем с контурами суши и моря.

Уже в начале XX в. стало ясно, что наиболее полную картину последовательного распределения древних морских бассейнов может дать анализ фактического материала по отдельным векам или более узким интервалам геологического времени, а не по периодам или эпохам. В связи с этим А. П. Павлов (Pavlov, 1901) на основе тщательного палеонтологического изучения нижнего мела в Поволжье составил подробные палеогеографические карты для площади Европейской России в раннем неокоме, готериве — барреме, апте и альбе.

Необходимость детального анализа палеогеографической обстановки особенно убедительно показал А. Д. Архангельский (1912, 1916) с помощью сравнительно-литологического метода на примере верхнемеловых отложений Поволжья и Туркестана. Тщательно изучив меловые осадки и сравнивая их с современными гомологами путем макро- и микроскопического определения состава, структуры и текстуры, он восстановил, в частности, условия осадконакопления в различные эпохи существования мелового бассейна восточной

части Европейской России. Позднее, начиная с 1945 г., разработку этой методики продолжил Н. М. Страхов (1945), который утвердил сравнительно-литологическое направление исследований в палеогеографии.

Следует отметить, что, если А. П. Павлов акцентировал внимание на выяснении развития и миграции морских фаун, а Н. И. Андрусов на особенностях их образа жизни, то А. Д. Архангельский, учитывая оба эти фактора, на первое место ставил выяснение обстановки формирования той или иной осадочной толщи на основе сравнения с условиями накопления современных осадков.

В конце 1912 г. в Мюнхенском университете палеонтолог Э. Даке начал впервые читать лекции по палеогеографии, а несколько позднее опубликовал книгу «Основы и методы палеогеографии» (Dacqué, 1915) с обширной библиографией, но почти без упоминания русских авторов. Вскоре после этого вышло в свет «Руководство по палеогеографии» в двух томах Т. Арльдта (Arldt, 1919, 1922). Таким образом, окончательно утвердилось положение палеогеографии как самостоятельной, в основном геологической науки.

Широкое развитие палеогеографических исследований наблюдается с начала 30-х годов XX в., когда возможности для восстановления прошлых физико-географических условий стали заметно увеличиваться, особенно за счет сильно возросшего объема геологического материала, в том числе данных опорного и поисково-разведочного бурения. При этом удачно используются достижения разных отраслей естествознания благодаря взаимопроникновению геологии, биологии, химии, физики, океанологии и других наук. Тем не менее палеогеографические реконструкции остаются не равноценными по содержанию, как правило, из-за неполноты геологической летописи. Не случайно отсюда стремление к совершенствованию старой методики и разработке новых исследовательских приемов. В этом отношении палеогеографией было достигнуто немало.

Метод изучения минералогического состава осадочных пород небезуспешно использовался еще геологами XIX в. при выявлении источников сноса. Однако возможности применения этого метода значительно расширились, начиная со второй четверти текущего столетия в связи с использованием редких тяжелых минералов при корреляции разрезов нефтеносных толщ. В. П. Батурин на примере среднеплиоценовой продуктивной толщи Апшеронского полуострова впервые убедительно показал, как древние области «питания» и пути переноса обломочного материала относительно точно устанавливаются посредством выделения терригенно-минералогических провинций при изучении распространения зерен редких тяжелых минералов в песчаных и алевритовых породах. Палеогеографические построения по терригенным компонентам В. П. Батурина (1937) нашли весьма широкое распространение среди геологов-нефтяников, успешно развивающих терригенно-минералогическое направление в палеогеографии.

В дальнейшем ценные сведения палеогеографы научились получать при изучении легкой фракции обломочных пород. Особенности формы кварцевых зерен, различная их прозрачность, наличие включений, трещиноватость, а также присутствие обломочных зерен плагиоклазов различного состава помогают уточнению местоположения источников сноса (Шутов, 1952 г.).

В течение довольно долгого времени почти неиспользованными для палеогеографии оставались возможности, таящиеся в изучении широко распространенных в природе глинистых пород. Объяснялось это неразработанностью минералогии глинистых минералов и методики ее изучения. В настоящее время при изучении глин во многих странах эффективно используют-

ся рентгеновский и термический анализы, электронная микроскопия (Викулова, 1952) и методика окрашивания (Веденеева, Ратеев, 1950). Упрощение способов диагностики глинистых минералов открыло новые перспективы детализации палеогеографических реконструкций.

Вместе с тем толкование данных по минералогическому составу глин пока неоднозначно. Первоначально считалось, что состав глинистых минералов определяется средой осадконакопления и, стало быть, позволяет судить о ее особенностях. В дальнейшем выяснилось, что глинистые минералы формируются в основном еще в области сноса, в процессе выветривания, и их состав предопределяется прежде всего климатическими условиями суши. Так, каолинит является продуктом влажного климата; монтмориллонит и особенно палыгорскит — аридного. Однако и этот подход оказывается несколько односторонним: в морских водоемах поступивший с суши глинистый материал подвергается более или менее глубокой переработке и в своем составе, следовательно, носит отпечаток гидрохимического режима бассейна (Коссовская, 1962; Зхус, 1966). Таким образом, исследования глинистых пород при надлежащем подходе дают ценные указания как на климат области размыва, так и на характер среды накопления.

В 30-е годы обособилось геохимическое, или минералого-химическое, направление в палеогеографии. Основным объектом исследований в данном случае явились сингенетичные (аутигенные) минералы, по составу которых можно судить о физико-химических условиях среды осадконакопления, об окислительном, нейтральном или восстановительном режиме водоема. Выделением ряда так называемых геохимических фаций (Пустовалов, 1933) были заложены основы этого перспективного направления, развитого и значительно дополненного Г. И. Теодоровичем (1947). Впоследствии Н. М. Страхов обратил внимание на сложность окислительно-восстановительных процессов в водоемах, показав, что аутигенные минералы образуются фактически лишь в стадию диагенеза, условия которой могут существенно отличаться от условий самой среды осадконакопления.

В США В. К. Крумбейн и Р. М. Гаррелс (Krumbein, Garrels, 1952) сделали попытку классифицировать геохимические фации и предложили свою схему размещения основных аутигенных минералов осадочных пород в координатах pH и Eh. Р. М. Гаррелсом (Garrels, 1960) разрабатывается термодинамическое направление в геохимических исследованиях, когда экспериментально изучаются минеральные равновесия при низких температурах и давлениях.

По геохимическим признакам палеогеографы весьма убедительно восстанавливают сейчас гидрохимические условия исчезнувших водоемов. В частности, о солености древних морских бассейнов с достаточной уверенностью судят на основе анализа первичных хемогенных, главным образом диагенетических, минералов осадочных пород. Кроме того, большая адсорбционная способность глинистых частиц также позволяет определить относительную соленость древних морей, поскольку коллоидные частицы поглощают катионы из вод бассейнов, на дне которых они осаждаются. Водно-спиртовые вытяжки из глинистых пород и определяемые по ним значения различных геохимических коэффициентов показывают содержание хлора, фтора и других химических элементов в отложениях, позволяя определять их морское, лагунное или континентальное происхождение (Виноградов и др., 1952; Гуляева, 1956; Стадников, 1957; Спиро, Грамберг, 1959; Chave Keith, 1960).

Необходимо подчеркнуть, что в процессе развития палеогеографических исследований особенно интенсивно совершенствовалась методика фа-

циального анализа. С ним, по существу, оказалась теснейшим образом связанной вся новая и новейшая история палеогеографии.

В разработке фациального анализа весьма заметную роль сыграла вышедшая в свет в 1925 г. и неоднократно переиздававшаяся в разных странах фундаментальная сводная работа У. Х. Твенхофела «Учение об образовании осадков», рассматривающая процессы осадконакопления и условия, в которых они протекают.

Одним из главнейших методических приемов фациального анализа с самого начала являлось сопоставление изменений одновозрастных отложений по горизонтали и выявление характера их переходов в вертикальном направлении. Осадочные толщи по-прежнему продолжали оставаться важнейшими объектами, при изучении которых в первую очередь дополнялась и углублялась его методика, способствовавшая выяснению палеогеографических условий образования различных полезных ископаемых и установлению закономерностей их распределения в земной коре.

Весьма значительное местов палеогеографии текущего века получило палеоэкологическое направление. Совместные палеоэкологические и литологические исследования органических остатков и заключающих их пород позволяют с относительно большой детальностью восстанавливать первичный состав осадков, их распределение на дне древних бассейнов, распространение фауны и флоры, что позволяет судить о солености и глубинах бассейна, характере связи с соседними морями, климатических условиях и т. д. (Геккер, 1941). Дополнительные сведения о палеогеографических условиях дает изучение закономерностей процессов захоронения фауны и флоры (Ефремов, 1950).

Широкие возможности палеоэкологического метода при реконструкции палеогеографических обстановок неслучайно обусловили создание в 40-х годах, в частности в США при Национальном исследовательском совете, комитета палеоэкологических исследований.

При восстановлении истории геотектонического развития весьма результативным оказался анализ фаций и мощностей отложений. Этот метод был предложен впервые В. А. Вервибе, который наносил на мелкомасштабные карты территории США цифры мощностей отложений, но не проводил изолиний. Совмещенные карты фаций и мощностей почти одновременно появились в 30-х годах в Германии, во Франции и в СССР. Развернутое теоретическое обоснование метода анализа фаций и мощностей было дано В. В. Белоусовым (1940), а затем уточнено в работах В. Е. Хаина (1954, 1964), А. Л. Яншина и Р. Г. Гарецкого (1960).

Дополнением к анализу фаций и мощностей явился объемный метод, примененный и разработанный А. Б. Роновым (1949) на материале Русской платформы и обрамляющих ее геосинклиналей Урала и Кавказа. Подсчет объема осадков различных типов на основе карт литофаций и мощностей дает возможность изучить изменения скоростей прогибания и поднятия, их соотношений во времени, интенсивность вулканизма и т. п.

Зародившийся в начале XX в. при изучении торфяников метод спорово-пыльцевого анализа в последние годы успешно разрабатывается палеофлористами и особенно плодотворно используется для восстановления физико-географических условий четвертичного периода. Исследование диаграмм пыльцы для отложений ледникового периода позволяет различать ледниковые и межледниковые эпохи, характеризовавшиеся фазами попеременного чередования степной и лесной растительности. Споры и пыльца обнаруживаются как в континентальных, так и в морских отложениях, поэтому нахождение многочисленных видов спор оказывает эффективную помощь в стратиграфическом расчленении слоев. На основании характерных

спорово-пыльцевых комплексов, выделяемых для разных периодов геологической истории, открываются значительные возможности в познании истории развития растительного мира и, следовательно, палеогеографии суши.

В конце 30-х — начале 40-х годов внимание палеогеографов все больше привлекают многочисленные признаки осадочных пород, позволяющие реконструировать физико-географическую обстановку прошлого в ее динамике. А. В. Хабаков (1948) назвал это направление *динамической палеогеографией*. Сюда относятся замеры наклонов косой слоистости и ориентировок песчинок, галек, вытянутых предметов (чаще органических остатков), установление расположения гиероглифов во флишевых толщах и т. д. Учет этих признаков способствует установлению характера среды накопления (русло реки, море и др.), а также восстановлению течений в древних бассейнах, направлений переноса обломочного материала и т. п. (Вассоевич, 1948—1949; Ksiazkiewicz, 1960; Гроссгейм, 1961; Pettijohn, 1962).

Одной из наиболее важных и трудных задач палеогеографии в XX столетии по-прежнему остается воссоздание климатических условий прошлого. Для решения вопросов палеоклиматологии надежно используется *анализ биогеографического распределения ископаемой флоры и фауны*. Наиболее ценный материал дает изучение ископаемых флор, так как растения являются самыми чувствительными индикаторами палеоклимата. Работы по палеофлористическому районированию и фитогеографической зональности, т. е. по выяснению распределения климатических поясов в геологической истории, проводятся очень широко в ряде стран.

В 20—30-х годах появились первые специальные руководства по палеоклиматологии (Köppen, Wegener, 1924; Kerner-Marilaun, 1930). В 40-х годах в разных странах начали появляться *палеоклиматические карты*, составленные в основном по характеру распределения различных ископаемых органических остатков в осадочных толщах. Однако начиная с середины 40-х годов большое внимание стало уделяться осадочным породам как литологическим критериям палеоклимата (каменным и калийным солям, железным и марганцевым рудам, бокситам и т. д.). Н. М. Страхов (1960), в частности, составил серию карт по литологическим признакам для разных периодов и эпох и на этой основе пришел к выводу о существовании в послекембрийской истории Земли раннепалеозойского, позднепалеозойского и мезокайнозойского этапов развития климатической зональности, со специфическим для каждого из них планом расположения климатических зон и поясов.

Некоторые исследователи (Brooks, 1950; Schwarzbach, 1950) пытаются основывать свои представления о климате разных геологических периодов на совокупности показателей. Л. Б. Рухин (1959), проанализировав в разновозрастных отложениях распространение различных характерных типов минеральных отложений и распределение остатков организмов, показал на своих картах явное отклонение положения древних климатических зон по сравнению с современными. Отсюда следует вывод о неоднократных изменениях положения оси вращения Земли, а следовательно, смещении полюсов и экватора на протяжении геологической истории.

В конце 40-х — начале 50-х годов в Англии, СССР, США и некоторых других странах начались интенсивные исследования в области палеомагнетизма (изучение естественной остаточной намагниченности горных пород), что содействовало разработке принципиально нового *палеомагнитного метода* в палеогеографии. Палеомагнитные данные, полученные Ирвингом и Ранкорном для Западной Европы и Северной Америки, А. Н. Храмовым для Восточной Европы и многими другими исследователями для дру-

гих территорий, подтверждают факт миграции полюсов в истории Земли, что существенно важно для выявления палеоклиматической зональности и ее эволюции.

Новые возможности в области палеоклиматических реконструкций открылись в связи с появлением в середине текущего столетия количественного метода определения температуры воды древних морей, по соотношению изотопов кислорода (O^{18}/O^{16}) в кальците органического происхождения. Успешно применяется этот изотопный палеотермометрический метод в США (Lowenstam, Epstein, 1954) и СССР (Тейс и др., 1957). В этих странах произведены в частности, измерения температур на площади распространения меловых и третичных бассейнов Америки и Европы по раковинам белемнитов.

Наиболее сложным вопросом при палеогеографических исследованиях остается реконструкция рельефа как древних водоемов, так и древней суши. Различные признаки ископаемых осадков — текстурные особенности, состав аутигенных минералов, органических остатков — дают возможность более или менее уверенно выделять мелководные образования, относящиеся к верхней части шельфа. Однако надежные и достаточно универсальные критерии для установления глубоководных условий и тем более для количественного определения глубин пока не выявлены. Наземный рельеф лишь в отдельных случаях сохраняется в погребенном состоянии, когда древние долины быстро заполняются обломочным материалом и затем вместе с водоразделами перекрываются осадками морских трансгрессий. Гораздо чаще наземный рельеф срезается субаэральной денудацией или абразией, и тогда его первоначальная высота может быть установлена лишь приближенно: по размеру снесенных с суши обломков (с учетом дальности переноса), по объему снесенного с нее обломочного материала, по степени сохранности коры выветривания, по наличию или отсутствию следов оледенения и некоторым другим признакам. Довольно очевидно, что в силу большей полноты документации важная проблема восстановления палеорельефа будет сначала решена, вероятно, для древних водоемов, а затем уже для областей суши.

Почти до самого недавнего времени в тени оставалась еще одна важная сторона физико-географических условий геологического прошлого — древний вулканизм, по своей интенсивности превосходивший вулканизм современной эпохи. В последние годы в изучении палеовулканизма произошел заметный сдвиг; в частности в СССР проводятся специальные совещания, издаются сборники докладов, разработана методика выявления локализации древних вулканических аппаратов, успешно примененная в ряде регионов.

Большое значение имеет распространение во второй половине XX в. палеогеографических исследований на более ранние, чем палеозой, этапы истории Земли. Осуществление палеогеографических реконструкций для этих отдаленных, докембрийских, времен ранее считалось невозможным в силу обычно значительной метаморфизации осадков этого возраста. Однако сейчас успешно разрабатывается (Сидоренко, Лунева, 1961) методика «снятия эффекта метаморфизма», позволяющая выявить первичные признаки параметаморфических пород и открывающая путь для восстановления физико-географической обстановки их образования.

Как видно из предыдущего, современная палеогеография использует большое число разнообразных методик, дающих возможность составления разномасштабных палеогеографических карт различного типа. В СССР, США, Канаде, Англии, КНР, Польше и других странах составляются многочисленные фациальные, литологические литолого-фациальные, палеогеологические, па-

леотектонические, фациально-палеогеографические, литолого-палеогеографические карты, на которых с достаточно большой полнотой изображаются физико-географические условия прошлых геологических эпох.

Так, «Палеогеографический атлас Британских островов и прилежащих к ним частей Европы» (Wills, 1951) состоит из серии мелкомасштабных карт (приблизительно 1 : 10 000 000), на которых в отдельных местах показан состав осадков и выборочно нанесены мощности.

В США, кроме разнообразных региональных крупномасштабных палеогеографических карт, публикующихся во многих журналах и монографиях, в последние годы начато издание многотомного атласа палеотектонических карт всей территории страны в масштабе 1 : 5 000 000. В 1960 г. был опубликован мелкомасштабный атлас литофациальных карт США и Северной Канады (Sloss a. o., 1960), в котором приводятся карты для целых геологических периодов. Одновременно к этому атласу прилагаются карты отдельных районов территории США и узких геохронологических интервалов.

В КНР выпущен в свет мелкомасштабный палеогеографический атлас, касающийся наиболее изученной восточной части страны. Карты составлены для целых геологических периодов начиная с синия. На них показаны разным цветом палеогеографические обстановки (суша — море); литологические признаки обозначены условными знаками; проведены изолинии мощностей отложений, обозначены районы вулканической активности в прошлом.

В Польше выпущено несколько томов атласа фациальных карт в масштабе 1 : 3 000 000. Различные палеогеографические карты составлены болгарскими, румынскими, венгерскими, чехословацкими и югославскими геологами. Недавно опубликованы схематические палеогеографические карты для территории ГДР и смежных стран.

Темп накопления и объем фактического материала после второй мировой войны возросли настолько, что составление палеогеографических карт для значительных территорий усилиями одного исследователя оказалось невозможным. Исходя из этого, в СССР в начале 50-х годов было предпринято издание коллективного «Атласа литолого-фациальных карт Русской платформы» в масштабе 1 : 5 000 000, осуществленное двумя выпусками (палеозой и мезозой) в 1952—1953 гг.

Следующим шагом было создание «Атласа литолого-палеогеографических карт Русской платформы и ее геосинклинального обрамления», два тома которого, изданные в 1960—1961 гг. , включают полную серию карт, охватывающую период времени от позднего докембрия до антропогена; в состав этого атласа вошли также палеотектонические и палеогеологические карты. В создании атласа активное участие приняли геологи Польши, Румынии, Болгарии, Венгрии. На опыте работы над двумя названными выше атласами была разработана методика составления и система условных обозначений для литолого-палеогеографических карт, получившая широкое признание и распространение как среди советских геологов («Атлас палеогеографических карт Украинской и Молдавской ССР», 1960 г., и др.), так и среди зарубежных (палеогеографические атласы Польши и Румынии). Основной ее принцип заключается в изображении цветом различных палеогеографических обстановок (суша, озеро, море и т. д.) и штриховкой — состава накопленных осадков.

В 1962 г. еще бо́льшим коллективом исследователей, насчитывающим сотни авторов, начато составление на основе тех же принципов, но по более детальной легенде «Атласа литолого-палеогеографических карт СССР» в масштабе 1 : 7 500 000, впервые охватывающего всю огромную территорию Советского Союза и отображающего более чем двухмиллиардный период ее истории — от раннего протерозоя до современности. Это уникальное, не

имеющее себе равных в мировой науке издание, осуществляется Министерством геологии СССР и Академией наук СССР. В атлас включен ряд карт, отображающих физико-географическую обстановку накопления некоторых важнейших полезных ископаемых (железные и марганцевые руды, бокситы, соли, фосфориты, угли, нефть и др.). Подобный размах палеогеографических исследований в Советском Союзе тесно связан с огромными потребностями страны в минеральном сырье, а также с тем обстоятельством, что для осадочных полезных ископаемых выяснение физико-географических условий их образования и составление палеогеографических карт являются совершенно необходимым элементом научного прогнозирования.

В новейшее время исследователи обращают большое внимание на теоретическую сторону, расширяя задачи палеогеографии до включения в нее проблемы происхождения материков и океанов, а также гидросферы и атмосферы в целом. Такой подход нашел, в частности, яркое выражение в трудах крупнейших геологов — Н. М. Страхова, Л. Б. Рухина и других, а также в книге известного географа К. К. Маркова «Палеогеография» (1960). Исследования подобного масштаба требовали составления палеогеографических карт не только для обширных территорий, но и для всего мира. Серия таких карт с нанесением некоторых основных типов осадков (континентальных красноцветов, карбонатных и соленосных отложений, эффузивов), была опубликована в 1948 г. Н. М. Страховым в «Основах исторической геологии». Л. Б. Рухин в книге «Основы общей палеогеографии» изданной в 1959 г. и вторично — в 1962 г., показал на своих картах распределение типов минеральных отложений и остатков организмов, характеризующих очертания климатических зон в прошлые периоды истории Земли. В 1954—1961 гг. А. Б. Ронов и В. Е. Хаин впервые составили и издали глобальные палеогеографические карты для отдельных геологических эпох начиная с раннего девона по позднюю юру, на которых показали основные типы литологических формаций и их мощностей. Определение по этим картам объемов и относительной распространенности формаций позволило сделать ряд выводов о режиме вертикальных движений земной коры и подтвердить планетарную цикличность в проявлении этих движений.

Таким образом, сейчас палеогеография является одним из главнейших синтезирующих разделов в комплексе наук о Земле. Она весьма успешно изучает и восстанавливает физико-географические условия, существовавшие на земной поверхности в прошлые геологические эпохи. Несмотря на имеющиеся различия в характере палеогеографических исследований, в целом их назначение — оказать помощь в выяснении закономерностей распределения полезных ископаемых в земной коре.

Широкое разностороннее развитие палеогеографических исследований в текущем столетии сопровождается изданием соответствующих методических руководств и учебных пособий по палеогеографии. Быстрое увеличение объема работ, выполняемых в этой молодой, но интенсивно прогрессирующей области знаний, разработка и совершенствование методической основы, а также возрастающие коллективность, целеустремленность и организованность исследований обеспечили неслучайно выделение палеогеографии в качестве специальной проблемы на сессиях Международного геологического конгресса. Ее будущее, очевидно, определится в первую очередь внедрением более точных количественных методов.

Вулканология в XX в. приобретает новое и своеобразное направление вследствие того, что исследованиям вулканов придается более планомерный характер. В этот период основываются новые вулканологические обсерватории: в 1912 г. начинает работать обсерватория у самой кромки кальдеры вулкана Килауэа на о. Гавайи, в 1926 г.— на Лассен-Пике (которая позднее была закрыта), в 1929 г.— у подножия Мон-Пеле, организованная американским вулканологом Ф. А. Перре, затем ряд станций в Индонезии, на Филиппинах, в Новой Зеландии, в Японии; в СССР в 1935 г. начала работать основанная Ф. Ю. Левинсон-Лессингом станция у подножия Ключевского вулкана, а с 1938 г. у Авачи (Камчатка).

В это время устанавливается и совершенствуется аппаратура по химическому анализу газов, паров и лав, по определению высоких температур, регистрации сейсмических, гравиметрических и других явлений; так, на Везувии в начале XX в. впервые устанавливаются сейсмографы. Сейсмологические станции организуются в Японии и в других странах; в 1947 г.— на Камчатке у подножия вулканов Ключевского и Шевелуча, а в последующие годы и в других местах Камчатки.

В XX в. в связи с извержениями вулкана Мон-Пеле на о. Мартиника погибли целый город и более 28 000 жителей. Гигантская самовзрывающаяся стелящаяся туча мельчайшего пепла пронеслась по долине, в которой был расположен город, и уничтожила на своем пути все живое. До сих пор остается загадкой: то ли мучнистый пепел, то ли газы погубили живые существа. Для науки же открывается новый тип пелейских извержений, которые сопровождаются выжимающимися куполами и обелисками раскаленных лав и скатывающимися по склонам и долинам крупными глыбами лав, мелких и мельчайших их частиц. Этот новый тип вулканических извержений открыл известный французский геолог А. Лакруа (Lacroix, 1904).

Вслед за А. Лакруа многие исследователи стали находить извержения пелейского типа во многих уголках земного шара. Так, Лакруа усматривал этот тип извержения у вулкана Сан-Винсент на о. Мартиника, а также на о. Ява и в других местах. Голландский вулканолог Б. Г. Эшер в 1937 г. нашел сходные типы извержений в архипелаге Индонезии — Мерапи и Сан-Винсент. Голландский вулканолог П. М. Нейман в 1939 г. рассматривал так называемые «палящие тучи» как элемент пелейского извержения и др. На Камчатке в 1946 г. этот тип извержений открыт А. А. Меняйловым (1955) у Шевелуча и наблюдался в 1952 г. Г. С. Горшковым (1956, 1965) у Безымянного.

В результате многочисленных наблюдений появилось много работ, в которых описывались особенности извержений пелейского типа. Обращалось особое внимание на то, что вместо вертикальных выбросов бомб и пепла образуются стремительно продвигающиеся по склонам тучи пепла и глыб, обладающих способностью самовзрываться и сметать все на склонах вулканов вплоть до городов, как это было с г. Сен-Пьер. Особенно подчеркивалось то, что вместо ранее известных излияний лав происходило образование лавовых куполов, обелисков, «пальцев» и т. п. в результате выдавливания и выжимания вязкой, почти твердой, но раскаленной лавы.

В 1912 г. произошло извержение вулкана Катмай на Аляске, сходное с извержением Мон-Пеле, но имеющее свои особенности. Спустя семь лет, в 1919 г., этот вулкан посетили крупный американский геолог К. Н. Феннер (Fenner, 1920) и химик Е. Г. Цис. Они исследовали пеплы, отложенные близ вулкана, и лавовый купол Новорупта вместе с существующими древними отложениями в Долине десяти тысяч дымов.

Подводные вулканы из-за их труднодоступности исследовались гораздо

меньше, однако вывод из многочисленных наблюдений П. М. Неймана (Neumann, 1939) о том, что подводные вулканы не отличаются от наземных, довольно убедителен.

В общем, подводные вулканы, состоящие из базальтовых, андезитовых и дацитовых лав, ни в петрографическом отношении, ни по строению сколько-нибудь существенно не отличаются от наземных вулканов. Хорошо известны подводные извержения андезитовых лав на о. Богослов в Тихом океане, о. Санторин в Эгейском море и др. Однотипность вулканов и их деятельность как на земле, так и под водой подтверждаются многочисленными фактическими данными. На 2-м Международном океанографическом конгрессе в 1966 г., происходившем в г. Москве было отмечено, что подводные извержения не дают возможности утверждать об особых явлениях, способствующих накоплению щелочей в лаве и т. п.

В связи с проблемой о движущей силе извергающихся лав встала более широкая проблема о приуроченности вулканов и вулканических явлений к определенным тектоническим зонам — опусканиям или поднятиям, геосинклиналям или платформам, разломам, островным дугам и т. п. (Левинсон-Лессинг, 1936; Заварицкий, 1937; Bemmellen, 1939; Umbgrove, 1947; и др.).

Геологи, проводя вулканологические исследования на основе детальных геологических карт и наблюдений, пытались установить связь извержений и вулканических аппаратов с трещинами в земной коре, с тектоникой, с внутриземной энергией. Некоторые из них относили образование тектонических трещин и впадин за счет вулканических сил (Knebel, 1906). Г. Рекк считал, что вулканические силы без тектоники способны пробить каналы, пути проникновения лав. В то же время он предполагал возможность существования кратеров поднятия применительно к вулканическим образованиям Южной Шотландии, описанным А. Гейки (Geikie, 1897).

В то же время существовало другое направление в науке, сторонники которого считали, что приуроченность многих вулканов и вулканических явлений к трещинам свидетельствует о зависимости вулканов от трещин. Так, В. Кнебелю возражали исландец Ф. Тородсен (1925 г). на основании своих данных по древним базальтам и молодым вулканам Исландии, А. Н. Заварицкий (1937) — по действующим вулканам Камчатки, Р. В. Бемелен (1939 г.) — по вулканам северной Суматры, Дж. Умбгрове (Umbgrove, 1947) — по вулканической дуге Марианских островов.

Знаменитая теория «кратеров поднятия» Л. Буха и А. Гумбольдта возродилась в XX в. Однако большинство исследователей ее опровергало. Так было и в 1906 г. во время экскурсии участников X сессии Международного геологического конгресса на знаменитый вулкан Хоруло в Чили, о происхождении которого было много легенд и рассказов, он был одним из вулканов, послуживших основой для теории «кратеров поднятия». Г. П. Михайловский в 1907 г. высказался против этой гипотезы, приводя следующие положения: 1) группа вулканов Хоруло возникла не на новой местности, а на бывшей до извержения гористой поверхности; 2) конусы вулканов там явно аккумулятивные; 3) извержение было приурочено к короткой трещине; 4) горнитосы (маленькие конусы) представляют собой холмики накопления, а не вздутия.

Немецкий вулканолог Г. Рекк в 1912 г. еще раз высказался против гипотезы «кратеров поднятия»; голландский геолог Л. Руттен в 1925 г. оспаривал выдвинутое В. Вольцем мнение о том, что некоторые вулканы Индонезии нужно рассматривать с позиции теории «кратеров поднятия». А. А. Меняйлов (1955) привел факты, противоречащие приложению этой гипотезы к Шевелучу, сделанному А. Эрманом (Erman, 1848).

В начале XX в. довольно короткое время господствовала теория немец-

кого ученого А. Штюбеля о групповом расположении вулканов, приуроченных к периферическим очагам. Эта гипотеза была применена К. И. Богдановичем (1904 г.) и С. А. Конради к камчатским вулканам. Но с появлением точной карты вулканов Камчатки, составленной в 1928 г. Н. П. Келлем, такое представление было поколеблено. А. Н. Заварицкий в 1937 г. на Международном геологическом конгрессе показал линейное расположение вулканов, приуроченных к тектоническим трещинам.



А. Н. Заварицкий

В 1946 г. А. Н. Заварицкий, а в 50-е годы Г. С. Горшков и другие показали закономерное расположение вулканов Камчатки и Курильских островов в системе островных вулканических дуг — эшелонное расположение и приуроченность наиболее активных вулканов к пересечениям продольных и поперечных разломов и дуг. В зависимости от положения вулканов в той или иной части островной дуги наблюдается изменение химического состава лав — повышение щелочности в местах пересечения вулканических дуг.

В районе некоторых вулканов типа Ключевской сопки установлено (В. И. Влодавец и др.) наличие кольцевых разломов и радиальных трещин, с которыми связаны извержения из многочисленных побочных кратеров базальтовых лав. Эта стадия образования на трещинах побочных кратеров предшествует образованию кальдеры.

Мнение о связи вулканической активности с сейсмическими и тектоническими явлениями высказывалось А. Н. Заварицким и другими. Поздние геофизические исследования, проведенные на Камчатке Г. С. Штейнбергом и С. А. Федотовым, подтвердили прежнее представление о линейном расположении вулканов. По их данным, четвертичный вулканизм Тихоокеанского подвижного пояса в настоящее время считается явлением планетарного масштаба. Отдельные группы вулканов находятся в тесной связи с крутопадающими глубинными разломами, приуроченными к зонам перегиба Мохоровичича и зонам смещения кровли «базальтового» слоя. Положение самих вулканических аппаратов контролируется неглубокими разломами, пересекающими глубинные разломы.

В связи с исследованиями в XX в. извержений и структуры вулканических построек не прекращались споры между исследователями, признающими образование кальдер в результате взрыва, расплавления или оседания. Так, Г. Гагель (Gagel, 1908) на основании исследований Г. Гартунга и Я. Рейса предложил употреблять термин «кальдера» для депрессии типа Пальма, к которой впервые он был применен в начале XIX в. Л. Бухом, считавшим ее образование благодаря воздействию эрозионных процессов.

А. Штюбель (Stubel, 1901, 1909), исходя из своей теории вулканизма, считал, что образование кальдеры есть естественный процесс в конце деятельности моногенного вулкана. Когда к моменту исчерпания периферического очага быстро образованный вулкан оставался внутри еще жидким, происходило обрушение вершинной части горы и образование кальдеры (до 10 *км* и более в поперечнике).

Б. Г. Эшер (Escher, 1928) на основании наблюдений Ф. А. Перре над расширением кратера Везувия в 1906 г. от 175 до 700 *м* высказал мнение, что во время этого извержения вслед за выбросом обломков, произошло скольжение стенок кратера по воронкообразной поверхности и их оползание. Кроме того, он упоминает об извержении Кракатау в 1883 г., когда значительная часть вулканического конуса была снесена взрывом. Таким образом, Б. Г. Эшер признает уже две действующие причины при образовании кальдер — взрыв и оседание (обрушение). По существу в приведенных примерах с Везувием и Кракатау наблюдался переход кратера в кальдеру, что принимается Г. Рекком (1936 г.) и В. И. Влодавцем (1944).

К. Г. Зандберг (1927, 1930 гг.) считал кальдеры первичными вулканическими явлениями и, рассматривая вулканизм как затухающий процесс, признавал переход кальдеры в кратер. Он решительно отвергал образование кальдер за счет обрушения. Его гипотезу большинство исследователей в то время не признавало убедительной (Влодавец, 1944).

Гипотеза «расплавления» немецкого геолога Ф. Гохштеттера (1871 г.) имела последователей в лице американских геологов Р. Ф. Григгса (1922 г.) и К. Н. Феннера (Fenner, 1920, 1923). Извержение вулкана Катмаи на Аляске в 1912 г. сопровождалось исчезновением вершины этой горы, однако если бы причиной был взрыв, то выброшенного материала на склоны вулкана оказалось недостаточно. Поэтому указанные исследователи видели признаки *расплавления одновременно в наличии как андезитовых лав, так и риолитов*, которые, по их мнению, существовали перед взрывом. Р. Ф. Григгс допускал, что растворение (или расплавление) происходило ниже земной поверхности; К. Н. Феннер же, а за ним и Х. Вильямс предполагали, что быстрое растворение произошло в самом кратере.

Процесс оседания при образовании больших депрессий, в частности кальдер, признавали многие исследователи, начиная с Ф. Фуке и особенно — Р. В. Беммелен, Т. А. Джаггар, К. Заппер, Н. Куно, Матсумото, П. М. Нейман, Г. Танакадате и др. Х. Вильямс (Williams, 1941) систематизировал факторы, которые, по его мнению, вызывают обрушения вследствие образования пустот в очаге в результате излияния лав и взрывов.

Ряд исследователей в большинстве случаев склонялся к несколько усложненной взрывной гипотезе (Заппер, 1927 г.; Уокер, 1928 г.), или к гипотезе оседания и обрушения (Танакадате, 1930 г.; Влодавец, 1944; Меняйлов, 1955), по которой кальдеры происходят в результате сложного процесса извержений (эксплозивных, эффузивных и экструзивных) и исчерпания магмы (в очаге или периферическом очаге) на некоторой глубине.

Вместе с тем образование кальдер и депрессий приурочивается по времени к поздним этапам развития вулкана, а по месту — главным образом к его центральной части (или несколько, эксцентрически), и в какой-то мере они приспосабливаются к тектоническим трещинам в вулканическом районе.

Гипотеза немецкого вулканолога А. Штюбеля (Stubel, 1901) в первые годы XX в. считалась весьма остроумной и стройной. У нее были последователи (Богданович, 1904 г. и др.), но с первых же лет у многих геологов появились сомнения относительно основного допущения — расширения магмы и лавы при охлаждении, а также некоторых других частностей (А. Флейшер, 1903 г.). Некоторые исследователи считали, что гипотеза может быть приемлемой

только на некоторое время, до появления новых фактов (Dannenberg, 1901).

К. И. Богданович, исследовавший вулканы Камчатки в 1897—1898 гг. и опубликовавший свою работу в 1904 г., почти полностью присоединился к представлениям А. Эрмана (Erman, 1848) и идеям А. Штюбеля (Stübel, 1901). Он признал пузыреобразное выпячивание, или моногенное образование, Шевелуча и других вулканов Камчатки (за исключением Ключевской и Авачи). По мнению К. И. Богдановича извержения происходят из периферических очагов, а вулканы располагаются группами по краям колоссальных кальдер опускания. Позднее это мнение было опровергнуто.

Известный вулканолог И. Фридляндер (Friedlander, 1915), считавший оседание главной причиной образования секторных грабенов, соглашался с А. Штюбелем в том, что современные вулканические силы нужно искать в периферических очагах, но отрицал, что крупные вулканы Колумбии и Эквадора моногенного происхождения.

Идеи А. Штюбеля в отношении грандиозного моногенного вулкана напоминали отдаленным образом идеи Л. Буха о кратерах поднятия.

Представление А. Штюбеля о периферических очагах, а также других исследователей о групповом нелинейном расположении вулканов пришло в противоречие с последующим направлением в науке, доказывающим закономерное линейное расположение вулканов в сочетании и связи с крупными разломами вдоль Тихого океана и других тектонических активных зон Земли. И поэтому оно вскоре потеряло свое значение. На смену пришли другие идеи. В связи с крушением космогонической гипотезы Канта — Лапласа и разработкой новой гипотезы Мультона — Чемберлина, особенно открытием явлений радиоактивного распада появляются и новые гипотезы о вулканах и их происхождении. Наступает новый этап в развитии вулканологии.

Шведский ученый С. Аррениус в 1900-х годах на основе теоретических соображений предполагал, что очаги вулканической деятельности находятся не в земной коре, а в поясе огненно-жидкой магмы. Проникающая по трещине морская вода в парообразном состоянии поглощается магмой, последняя при этом увеличивает свой объем. Вследствие этого магма поднимается по каналу вулкана, и если она встречает сопротивление, происходят взрывы паров, а если канал очень широк, сильных взрывов не происходит, а с поверхности медленно вытекающей лавы с шумом вырываются водяные пары. С. Аррениус стремился объяснить химические превращения внутри магмы тем, что вода при высокой температуре действует как сильная кислота и вытесняет кремнекислоту, а при понижении температуры реакция совершается в обратном направлении. Этим «механизмом» он объяснял разнообразие химического состава лав (по содержанию в ней кремнекислоты), изливающихся из одного и того же вулкана.

Аррениус резонно пытался объяснить процесс дифференциации магмы с помощью воды, но при этом считал воду морской, как в устаревших теориях XIX в. Он по существу отказался от представлений об огненном ядре и очагах в земной коре.

Новый этап в науке о вулканах открывает Аррениус в 1918 г., делая предположение, что тепло в очагах вулканов образуется в результате эндотермических реакций и радиоактивных процессов. Дж. Джоли еще в 1916 г. полагал, что вулканы действуют за счет радиоактивного распада. А. Холмс (Holmes, 1931) также считал радиоактивность причиной общей планетарной циркуляции магмы и вулканической активности. С этим был согласен и известный английский вулканолог Д. В. Тиррель (Tyrrel, 1934). Б. Виллис возродил представление о локальных очагах, считая их радиогенными магматическими камерами.

В. И. Вернадский в 40-х годах пришел к выводам, что земная кора переполнена застывшими очагами, а очаги современных вулканов лежат иногда очень неглубоко, как, например у Везувия (около 5 *км*). Но он допускал расположение очагов также на границе земной коры, имеющей толщину 25 *км*, и более глубоких оболочек. Он считал, что вулканические очаги появились в результате расплавления пород от тепла радиоактивного распада. В частности, он возлагал надежды на то, что генезис вулканических явлений можно будет выяснить на основе открытого в 1939 г. явления освобождения колоссальной энергии, которая связана с выделением нейтронов при распаде атомов (Вернадский, 1960, стр. 579).

Современные представления о холодном начальном состоянии Земли и о ее постепенном разогреве радиогенным теплом допускают, что вулканизм является одним из проявлений процесса дифференциации и дегазации недр планеты, верхней мантии (Виноградов, 1961).

В XX в. вместе с организацией вулканологических станций и обсерваторий наблюдается стремление к применению как известных ранее, но получивших новое их развитие, так и совершенно новых методов исследования вулканических явлений. К ним относятся визуальные, химические, геофизические или вулканофизические, сейсмические, гравиметрические, магнитометрические, археологические, радиоуглеродные, экспериментальные и другие методы (А. А. Меняйлов, 1939 г.; В. И. Влодавец, 1940 г.; А. Вальдуга, В. Д. Келлер, 1946 г.; Горшков, 1956; и др.). Остановимся на некоторых из них.

Японские исследователи Г. Нагаока и Т. Екебе (1937 г.) проводили наблюдения с помощью магнитографа вариаций вулканической активности вулкана Асамаями. В результате они получили важные материалы, характеризующие вулканическую активность и дающие возможность прогнозирования извержений.

Применение более совершенных приборов — термопар и оптических пирометров — для определения температуры лавы на вулканах Парикутин (Е. Г. Цис, 1946 г.), Гавайи (Т. А. Джаггар, 1949 г.), Ключевском (И. З. Иванов, 1940 г.) и других дало возможность, в частности, наблюдать важный факт повышения температуры лавы при поступлении ее на поверхность Земли, в результате ее окисления (Б. И. Пийп, 1956 г.; С. И. Набоко, 1959 г.).

Сейсмические методы, применяемые в настоящее время, дают возможность установить характер подземных взрывов перед и во время извержений и, следовательно, делать прогнозы извержений (Токарев, 1964 г.). Например, в 1964 г. извержение вулкана Шевелуч на Камчатке по сейсмодрожаниям было предсказано довольно точно.

Геофизические или вулканофизические методы дают возможность подойти более основательно к вопросу определения глубины вулканического очага (Горшков, 1956; Г. С. Штейнберг, 1965 г.; и др.).

Исследования извержений и деятельности вулканов и сопоставление их с атмосферными и космическими явлениями, фиксируемыми инструментальными наблюдениями (с помощью барографов, гигрометров, телескопов и пр.), дают много важного материала для установления закономерностей, связанных с многими внешними и внутренними явлениями Земли, Солнца и Луны.

Так, Г. О. Вуд (1917 г.) и Ф. А. Перре (1935 г.) на основе данных сейсмической станции на Гавайях за период 1912—1917 гг. и более ранних и поздних наблюдений показывают зависимость активности гавайских вулканов от Луны (циклы активности от нескольких дней до 126 лет). Они учитывают также предшествующие наблюдения японского исследователя Омори у вулкана Азама.

Физические наблюдения немецкого исследователя Ф. Добе (1936 г.) над извержением Дафни на о. Санторин дали ему возможность утверждать о зависимости извержений от колебаний атмосферного давления.

Извержение в 1937—1938 гг. Ключевского вулкана на Камчатке дало материал для суждения о некоторой зависимости вулканической активности от атмосферного давления, фаз Луны и солнечной активности. В последние годы в научной литературе о подобной связи сообщают нередко, и, следовательно, *эта область вулканологии представляет большой интерес и перспективу.*

ПЕТРОГРАФИЯ

Развитие петрографии в XX в. происходило на основе новых и усовершенствованных методов петрографического исследования горных пород, а также структурного картирования горных массивов с помощью микроструктурного метода. Весьма важным был переход от классификации горных пород к классификации петрографических формаций и фаций. Физико-химические исследования и эксперименты создали основу для нового понимания вещества горных пород и их происхождения. Исследования горных пород и метеоритов дали возможность сравнения пород земной коры и более глубоких горизонтов Земли на основе новых геофизических и геохимических методов. Краеугольным камнем петрографии являлась проблема происхождения гранитов и, в меньшей мере, базальтов, которая обсуждалась в горячих дискуссиях между магматистами, с одной стороны, метасоматистами и трансформистами (метаморфистами), с другой. Проблема магмы разрешается в чрезвычайно напряженной и даже кризисной ситуации.

Петрография приобретает большое теоретическое и практическое значение при поисках и использовании многих новых полезных ископаемых.

Общее картирование горных пород, применение новых методов микроструктурного анализа дали возможность выяснить особенности распространения и расположения пород в отдельных регионах (провинциях) и залегания их во внутренних частях массивов и в приконтактных зонах.

Основы современного учения о деформации горных пород были изложены американским геологом Г. Ф. Беккером в 1893 г. На базе этой теории разрабатывался метод микроструктурного анализа.

Большая роль в применении микроструктурных исследований и в разработке методов принадлежит венскому петрографу Б. Зандеру (Sander, 1930) и немецкому геологу В. Шмидту (1932 г.). Изучением микроструктурных особенностей гранитных изверженных и метаморфических пород занимался немецкий геолог Г. Клоос (Cloos, 1928), а также советский петрограф А. А. Полканов (1945). Ими на геологической карте фиксировались структуры пород, подчеркиваемые расположением минералов в породах, наблюдаемых либо в обнажениях, либо с помощью поляризационного микроскопа и федоровского столика в ориентированных шлифах.

Методы структурного картирования кристаллических пород были усовершенствованы учеником Г. Клооса американским геологом Р. Болком (Balk, 1937) и учеником А. А. Полканова советским петрологом Н. А. Елисеевым (1953). Советские петрографы успешно изучали структуры плутонов, даек и вмещающих их пород на Кольском полуострове, Балтийском и Алданском щитах.

Классические работы Г. Клооса 20—30-х годов, в частности о строении гранитного докембрийского автохтонного массива Эронго в Африке, послужили прекрасным примером изучения петрографии и геологии изверженных пород и интерпретации условий их формирования.

Новая область науки имела свои спорные проблемы (Болк, 1946; Balk, 1937). Некоторые положения Г. Клооса (Cloos, 1928) подверглись критике со стороны Р. А. Дели в 1938 г., Б. Зандера (Sander, 1927), Ф. Зюсса (Suess, 1925) и др.

Эти споры вызывались различным пониманием процессов образования разных структурных разновидностей изверженных пород и массивов. В свою очередь это приводило к горячему обсуждению применяемых терминов — «плутон», «хонолит», «сланцеватость», «линии течения», «структура течения» и др.

Г. Клоос выдвигал на первый план «трещинную тектонику» гранитов, а Б. Зандер — микроскопическое изучение ориентированных шлифов из горных пород, слагающих гранитные массивы. Ф. Зюсс был лишь частично согласен с Г. Клоосом, присоединяясь к Б. Зандеру, который изучал преимущественно структуру метаморфических пород. Оценку этого положения дал Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1936, стр. 42): «И если возникают некоторые сомнения и отступления от ортодоксальной клоосовской концепции, если надо разобраться в контроверзе относительно приоритета между Клоосом и Зандером, то нельзя отрицать, что «магматическая тектоника» внесла новую струю в область микрофизиографии, когда связала ее с моментами генезиса и формирование самого «плутона» с дислокационным процессом».

Классификация горных пород. Качественные минералогические классификации во второй половине XIX в. перестали удовлетворять петрографов. За основу классификации в связи с успехами химии стали принимать химический состав горных пород.

Вопрос о классификации горных пород в тесной связи с успехами химической петрографии был одним из первых поставлен Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом на VII сессии Международного геологического конгресса в Петербурге в 1897 г., а затем был предметом обсуждения на VIII и X сессиях.

На VIII сессии Международного геологического конгресса большое значение имели выступления по данному вопросу Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, Е. С. Федорова и А. П. Карпинского, а также предложения русской петрографической комиссии и количественная классификация изверженных горных пород, составленная американскими петрографами У. Кроссом, Д. П. Иддингсом, С. Д. Пирсоном и Г. С. Вашингтоном. Последняя была целиком построена при учете особенностей химического состава изверженных горных пород. Будучи опубликованной в 1902—1903 гг., она впоследствии получила широкое распространение.

Генетический принцип классификации горных пород был выдвинут и применялся А. В. Грэбо в 1904 г., И. Г. Фогтом в 1908 г., Р. А. Дели в 1914 г., Ф. Ю. Левинсон-Лессингом в 1939 г., А. Ритманом в 1959 г. и Е. Садецки-Кардошем в 1958 г.

Принцип классификации у А. В. Грэбо генетический с подразделениями по химическому составу. Все горные породы он делил на эндогенетические и экзогенетические. Эндогенетические породы разделялись им на пирогенетические, гидрогенетические, атмогенетические (образовавшиеся из парообразного состояния) и биогенетические; пирогенетические, в свою очередь, — на щелочные, известковые, кремнистые и железистые, биогенетические — на известковые, кремнистые, железистые и углистые. Экзогенетические породы он разделял на пирокластические, автокластические, атмокластические, анемокластические, гидрокластические и биокластические. Автор предлагал введение новых терминов и новую номенклатуру, которые не были приняты. Классификация А. В. Грэбо была попыткой последовательного проведения генетического принципа и заслуживала внимания, в ней систематизированы были горные породы осадочного происхождения.

И. Г. Фогт в 1908 г. дал химико-генетическую основу классификации изверженных пород, опирающуюся на представление о дифференциации и физико-химические законы кристаллизации сложных растворов.

У. Кросс в 1910 г. отрицал правильность взглядов И. Г. Фогта, стремившегося связать классификацию изверженных пород с представлением об эвтектике. Он считал, что наиболее рациональной является американская классификация.

Разделение горных пород на «семейства» проводил Г. Розенбуш в 1910—1923 гг. на основе качественного минерального состава; В. Трёгер в 1935 г. на базе количественного минерального и химического состава составил сводку определений всех известных к тому времени изверженных горных пород

Генетическую классификацию изверженных горных пород, на основе представления о первичной базальтовой магме и гранитной коре выдвинул Р. А. Дели в книге «Изверженные породы и их происхождение», изданной в Нью-Йорке в 1914 г. Его классификация долгое время пользовалась успехом. Наконец, генетическую классификацию изверженных горных пород предложил также Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1939), которую, по существу, повторил известный вулканолог А. Ритман (Rittmann, 1958). Интересно привести их сопоставление с классификацией Е. Садецки-Кардош (Szadeczky-Kardoss, 1960):

Генетические классификации изверженных пород

По Ф. Ю. Левинсон-Лессингу (1939)	По А. Ритману (Rittmann, 1958)	По Е. Садецки-Кардошу (Szadeczky-Kardoss, 1960)
Породы	А. Магмы	Породы-магмы
I. Ортомагматические	1. Первичная (или прототектическая, существующая с допалеозойского времени)	1. Ортомагматиты (температура кристаллизации около 1300—700°С)
1. Прототектиты (первично магматические)	2. Вторичная (или анатектическая, связанная с переплавлением субстрата)	2. Гемиортомагматиты (1000—400°С)
2. Анатектиты (переплавленные)	3. Синтектическая (результат сплавления и ассимиляции)	3. Гипомагматиты (1200—50°С)
3. Синтектиты (продукты сплавления и ассимиляции)	4. Гибридная (результат смешения магм)	4. Метамагматиты (перекристаллизация пород ниже 400°С)
II. Апомагматические (породы гибридно-магматического происхождения)	Б. Мигмы	5. Пегматитовые породы (650—550°С)
III. Парамагматические (мигматиты, ксенолиты, контаминиты, метасоматиты)		6. Пневматолиты (550—370°С)
		7. Гидротермолиты (370—400°С)

Предложенная классификация Е. Садецки-Кардоша (Венгрия) отличается от предшествующих тем, что в ней вводятся дополнительно пегматитовые породы, пневматолиты и гидротермолиты с учетом летучих компонентов и температуры кристаллизации магмы.

Ю. А. Кузнецов (1960) считает, что основой классификации магматических формаций должны являться особенности петрографического состава формаций и принцип связи их с геологическими структурами определенного типа. По этим признакам им выделены восемь групп магматических формаций. В. С. Коптев-Дворников, И. Ф. Григорьев и др. (1960) из единой гранитной формации Ф. Ю. Левинсон-Лессинга выделяют две группы формаций гранитоидов — интрузивы больших глубин с явлениями гранитизации и интрузивы малых глубин, сопровождающиеся разнообразными месторождениями. Г. Д. Афанасьев выделяет магматические комплексы и ассоциации и сопровождающие их явления (например, щелочной метасоматоз).

Таким образом, от классификации пород по минералогическому петрографическому и химическому составу исследователи перешли к разделению формаций, комплексов и ассоциаций с учетом сопровождающих явлений гранитизации, метасоматоза и т. п.

Развитие минералого-петрографического и физико-химического направления. Минералого-петрографическое и химическое направление в петрографии разрабатывалось в XX в. Ф. Ю. Левинсон-Лессингом и его учениками. Он выдвинул ряд важных теоретических положений о принципах кристаллизации и дифференциации магмы. Его взгляды были основополагающими и оказали значительное влияние на развитие петрографии.

Физико-химическое направление в XX в. имело также значительные результаты и успех. Гипотеза канадского ученого Н. Л. Боуэна в публикациях 1915, 1922 гг. и так называемый реакционный принцип Боуэна (Bowen, 1928) принимали родоначальной магмой базальтовую, которая в процессе остывания и кристаллизации минералов, располагающихся по удельным весам, дает в верхней части скопления легких минералов, образующих кислые породы — граниты, а в нижней основные — базальты. Просуществовав значительное время, эта гипотеза подверглась критике, в особенности со стороны русского петрографа В. Н. Лодочникова в 1918 г.; позднее, прийдя в противоречие с фактами, она уступила место другим теоретическим представлениям.

Петрографические формации. В XX в. представление о петрографических формациях развивали русские геологи Л. Дюпарк в 1901—1916 гг. (Duparc, 1913) и Н. К. Высоцкий в 1913 г. на примере габбро-перидотитовой формации Урала. П. Ниггли (Niggli, 1920), А. Е. Ферсман в работе 1932 г. и другие считали их петрогенетическими единицами. П. Ниггли, исходя из признания роли летучих компонентов в магме, связал в один генетический ряд чисто магматические образования, пегматитовые жилы и гидротермальные жилы. А. Е. Ферсман развил это положение и дал ему геохимическое обоснование.

Многие работы, устанавливающие зависимость между характером ассоциации горных пород, типом тектонических движений и геологического строения, послужили основой для развития идей о петрографических формациях и тектоно-магматических циклах в работах Д. В. Тирреля (1937 г.), Ф. Дж. Тернера и Ж. Ферхугена (1951 г.), П. И. Лебедева (1934 г.) и Ю. А. Билибина (1947 г.), В. С. Коптева-Дворникова (1960 г.), Г. Д. Афанасьева (1960 г.) и др.

Большое внимание петрографическим формациям и провинциям уделено в последние годы в работах Ю. А. Кузнецова (1953 г.) о классификации магматических формаций, Т. Визера о петрографических провинциях Северных Карпат, А. Эрдли о петрографических провинциях США, Дж. Нобл и Х. Тейлора об ультраосновных комплексах Аляски.

Природа магмы. В XX в. исследователей продолжала интересовать природа магмы. Понимание магмы разными исследователями обобщил Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1936, стр. 100—102):

1. Огненно-жидкая магма всегда имеется в готовом виде в земной коре. Огненно-жидкое ядро в лапласовском представлении формирования и строения земного шара допускалась многими геологами и петрографами. Наружные силикатные зоны этого ядра составляют Sial и Sima Зюсса, единую базальтовую магму Р. Дели и Н. Боуэна, нормально-пироксеновую и нормально-трахитовую магму Р. Бунзена, силикатные, окисные и сульфидные магмы В. Гольдшмидта и Таммана и всех тех, кто оперирует в своих петрогенетических построениях с «реальностью кислой и основной магмы».

2. Магма находится в потенциально-жидком, а практически в твердом состоянии; она перегрета, но находится под большим давлением. Так она

понималась Э. Рейером еще в 1888 г., а в XX в. Дели (Daly, 1933), Л. Л. Фермором (1913 г.), А. Холмсом и др.

3. Магма образуется путем переплавления твердых силикатных пород. По мнению одних, это твердая магма, непосредственно переходящая в жидкую, например эклогитовый слой, дающий базальтовую магму (по Л. Л. Фермору, 1913—1914 гг.), или же базальтовый слой, превращающийся вследствие радиоактивного распада в базальтовую магму (по Дж. Джоли, 1929 г.). По мнению других, это твердые силикатные породы, дающие магмы путем выборочного плавления: а) перидотитовая масса, из которой, по Н. Боуэну (1928 г.), получается базальтовая магма; б) гранитная эвтектика, по П. Эскола (1932—1933 гг.), выборочно выплавляемая из любых силикатных пород или получающаяся путем переплавления древних гранитов. С этими же представлениями согласовались взгляды И. Д. Лукашевича (1908 г.) о том, что магма завершает круговорот превращения горных пород; представления финского геолога Я. И. Седергольма (1907 г.) об анатексисе и палингенезе; предположение Ф. Ю. Левинсон-Лессинга (1936) о том, что постархейские изверженные породы являются продуктами периодического переплавления первоначальных пород, получившихся от кристаллизации и дифференциации первозданных магм.

4. Магма получается в результате расплавления осадочных пород, под воздействием теплоты, развивающейся дислокационными движениями масс, дислокационным трением. Это старая точка зрения нептунистов, против которой говорит отсутствие признаков плавления в тектонитах.

5. Единственная базальтовая стекловатая, потенциально-жидкая магма признается Р. Дели (1914 г.).

6. Особняком стоит гипотеза Г. Ф. Беккера, который сравнивал магму со скульптурной глиной. Магма, по его словам, не жидкая, но насыщенная эмульсионная.

С точки зрения процессов превращения магмы в изверженную породу наибольший интерес представляет физико-химическая природа жидкой магмы. Еще в прошлом веке были высказаны взгляды на магму как на раствор (Дюроше, Бунзен, Лагорио, Фогт и др.).

Под раствором понимали гомогенную смесь разных веществ, механически неразделимых, и выделяли следующие типы растворов: 1) водные и другие низкотемпературные жидкие растворы; 2) расплавы; 3) твердые растворы и амальгамы; 4) газообразные высокотемпературные растворы в надкритическом состоянии; 5) газовые низкотемпературные растворы.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1936) отмечал, что магма полностью не соответствует ни одному из этих типов, но ближе всего подходит к расплавам, особенно эффузивная, а интрузивная отличается от обыкновенных расплавов высоким содержанием летучих компонентов и способностью выделять растворы первого и четвертого типов. До сих пор нет однообразия во взглядах на образование магмы вследствие сложности и спорности этих представлений.

Из наиболее важных и основных проблем теоретической петрографии в XX в. была также проблема родоначальных магм. Теория единой родоначальной базальтовой магмы была разработана в XX в. американским геологом Р. Дели в работе 1914 г. и развита американским экспериментатором Н. Л. Боуэном в 1915 г. Первый по существу был последователем Б. Котта (Cotta, 1858), который допускал ассимиляцию базальтовой магмой вышележащих кислых магматических и осадочных пород. Р. Дели, впрочем, не был абсолютным сторонником единой родоначальной базальтовой магмы, так как считал, что в докембрийское время существовала и кислая магма, но была исчерпана при формировании твердой гранитной земной коры.

Экстраполяция экспериментальных данных Н. Боуэном (Bowen, 1928) привела его к созданию стройной картины эволюции всех изверженных пород. Концепция Боуэна о единой родоначальной магме и происхождении из нее всех изверженных пород путем кристаллизационной дифференциации нашла широкий отклик у петрографов. Однако К. Н. Феннер (1931 г.), А. Холмс (1931 г.), Т. Крокстрем (1932 г.) и В. Н. Лодочников (1918 г.) вследствие противоречий многих геологических данных говорили о недостаточности признания существования единой базальтовой магмы.

В то же время параллельно развивалась гипотеза о двух родоначальных магмах — кислой и основной. Это, по существу, старая гипотеза Р. Бунзена и Э. Рейера (1877 г.), которая в XX в. не только поддерживалась, но и разрабатывалась особенно плодотворно в трудах Ф. Ю. Левинсон-Лессинга и Р. Дели, К. Н. Феннера, А. Холмса, Г. Рида, Д. С. Белянкина, Г. Д. Афанасьева, Д. С. Коржинского и др.

Самым решительным сторонником идеи двух магм был Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Эту идею он обосновал в работах в 1898—1910, 1929 гг. и развил ее в виде теории синтектически-ликвационной дифференциации. Фактической основой гипотезы ликвации является, как известно, свойство некоторых жидкостей неограниченно смешиваться выше некоторой температуры, самопроизвольно распадаться на два несмешивающихся слоя при понижении температуры, способность некоторых растворов распадаться от примесей на два слоя. Ассимиляция (поглощение и переработка магмой окружающих осадочных и метаморфических пород), вызывающая ликвацию, легла в основу указанной теории синтектически-ликвационной дифференциации Левинсон-Лессинга.

Вслед за ним Р. А. Дели в работах, изданных в 1906, 1912, 1914 гг., развил аналогичную так называемую теорию «ассимиляции-ликвации». Позднее С. И. Томкеев (1935 г.), со ссылкой на Левинсон-Лессинга и Дели, допускал частичную несмесимость, имея в виду сухую магму и магму, богатую газами. К принципу несмесимости прибегали Т. Барт (1927 г.), Г. Г. Рид (1919 г.), Б. Асклунд (1925 г.), Я. Седергольм (1928 г.) и др.

Кроме этих гипотез, появились новые гипотезы о происхождении горных пород из трех и даже нескольких магм. Впервые идея о трех магмах была высказана А. Холмсом в 1915 г. и обоснована им в 1932 г. Он считал, что, кроме двух магм, самостоятельно существует третья — перидотитовая — магма, от которой берут свое начало ультраосновные породы, такие как кимберлиты, дуниты и серпентиниты.

Г. С. Вашингтон (Washington, 1925) значительную роль в строении земной коры также приписывал перидотитовой магме. Н. Боуэн (Bowen, 1928) допускал существование перидотитовой магмы, из которой путем выборочного плавления получается материнская магма всех изверженных пород — базальтовая. Еще в прошлом веке А. Добре признавал существование оливиновой магмы, которая, по его мнению, всюду подстилает породы земной коры. Оливиновую магму—одну из признаваемых им грех магм—признавал и А. Н. Алешков (1929 г.), поддерживавший А. Добре, но считавший ее единственной магмой. А. Н. Заварицкий (1940 г.) резко ему возражал, признавая только одну базальтовую магму.

В подкрепление представления о перидотитовой родоначальной магме А. Холмс (1931 г.) ссылался на кимберлит, трансваальские дуниты, змеевики Южной Австралии, Урала и др. Однако Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1934 г.) возражал А. Холмсу, будучи сторонником существования только двух магм.

На XXI сессии Международного геологического конгресса в 1960 г. проблемы, связанные с ультраосновными породами, по-прежнему привлекали

значительное внимание. С одной стороны, защищалось (Дж. Нобл и Х. Тейлор, США; М. Беттей, Англия; Е. Симпсон и Д. Отто, Южно-Африканский Союз; Н. А. Елисеев, СССР; и др.) их магматическое происхождение и явления фракционной дифференциации, а с другой — отстаивалось (С. В. Москалева, СССР; и др.) участие в их образовании метасоматических процессов (оливинизации и фельдшпатизации пироксенитов, десилификации и перекристаллизации вмещающих порфиритов и т. п.).

М. А. Усов считал, что магма образуется в результате тектонических процессов в тех или иных очагах, а состав магмы зависит от расплавляемой породы в этом месте.

В связи с актуальностью проблемы подкоркового слоя или верхней мантии в настоящее время определяют ее состав то как перидотитовый (А. П. Виноградов, 1961 г.; С. В. Москалева, 1962 г.), то как эклогитовый (Л. Л. Фермор, 1913, 1914 гг.; Дж. С. Кеннеди, 1961 г.).

Хотя эклогиты, как определенный тип пород, были описаны впервые Хью в 1822 г., гипотезу об особой эклогитовой зоне под земной корой выдвинул впервые Л. Л. Фермор в 1913 г. Позднее эта гипотеза была отражена в общей геохимической теории В. Гольдшмидта и поддержана П. Эскола, который определил эклогиты как породы наиболее высокой фации метаморфизма.

Генезис эклогитов представляет одну из наиболее сложных и дискуссионных проблем современной петрографии. По мнению многих геологов, эклогиты являются представителями особой минеральной фации, образованной в условиях высокого давления (В. С. Соболев, 1953, 1964 гг.; Ф. Дж. Тернер, 1951 г.; П. Эскола, 1921 г.; Г. Рамберг, 1952 г.; Г. С. Йодер, С. Э. Тилли, 1963, 1964 гг.). Другие исследователи отрицают решающую роль высокого давления, поскольку эклогиты нередко залегают в метаморфических комплексах умеренной и малой глубины (К. Смуликовский, 1960 г., 1964 г.; Д. С. Коржинский, 1940 г.; А. А. Маракушев, 1962 г.).

К настоящему времени существуют следующие различные точки зрения на причины происхождения эклогитов: 1) кристаллизация из магмы при высоком давлении в подкоровом слое (В. С. Соболев, 1963 г.; Г. С. Йодер, 1963 г.; и др.); 2) высокотемпературный метаморфизм осадочных или изверженных пород (Д. С. Коржинский и др.); 3) метасоматоз осадочных или изверженных пород (К. Смуликовский и др.); 4) динаметаморфизм ранее существовавших пород (Я. Мияки); 5) гидротермальный контактовый метаморфизм (Никсон и др., 1963 г.); 6) мигматизация или инъекционный метаморфизм (Алтдерман, 1936 г.).

Весьма характерными особенностями эклогитов считают особый минеральный состав и значительную плотность, тенденцию к ретроградному метаморфизму, распространенность в различных геологических ситуациях: 1) в виде ксенолитов в кимберлитовых трубках; 2) в виде включений в ультраосновных и основных массивах; 3) среди глубоко метаморфизованных древнейших образований; 4) в связи с глаукофановыми сланцами.

Проблема базальтов (или базитов вообще) имеет, начиная с XVIII в. особенно существенное значение для геологии. В XX в., когда были детально изучены обширные трапповые области Африки, Мадагаскара, Индии, Америки и Сибири, пробудился особый теоретический интерес к базальтам. Старая нептунистическая гипотеза осадочного происхождения базальтов утратила свое господствующее положение еще в начале XIX в. Гипотеза вулканического происхождения базальтов (Л. Бух, А. Гумбольдт и др.) оказалась наиболее живучей. Однако позднее стали признавать значительное участие в формировании сложной траповой формации интрузивных (Р. А. Дели, А. Полдерварт, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и др.), контактно-метаморфических и метасоматических процессов (А. П. Лебедев, 1960 г. и др.).

Таким образом, базальты считались то поверхностными образованиями, то глубинными, связанными с очагами, залегающими в земной коре или берущими начало из верхней мантии. Путями проникновения базальтов из глубины представлялись трещины и глубинные разломы, по которым магма поднималась на поверхность земли (недифференцированные траппы) или в приповерхностные межпластовые пространства (дифференцированные траппы). В связи с подъемом магмы признавали (или отрицали) ассимиляцию и дифференциацию на глубине (А. П. Лебедев и др.) и различные метаморфические процессы.

В последнее время стали различать базальты по составу: относящиеся к трапповым формациям (наиболее основные), к лавам андезитового Тихоокеанского кольца и липарит-базальтовой ассоциации (наиболее кислые).

Кимберлиты, встречающиеся совместно с траппами, считались либо генетически связанными (А. А. Каденский, Л. Н. Леонтьев, 1957 г.) друг с другом, либо генетически независимыми (Соболев, 1936 г.; и др.). Кроме того, кимберлиты признавались то как вулканические (В. С. Соболев, А. П. Лебедев, 1957 г. и др.), то как интрузивные (Мак Кинли, 1963 г.), то как метасоматические (Бильджон, 1950 г.).

В связи с суждениями о составе и состоянии базальтовой и гранитной оболочек и верхней мантии наметились изменения представлений о них. В последнее время эти оболочки рассматривают (Г. Д. Афанасьев, 1963 г. и др.) не как зоны соответственного состава, а как зоны, только по физическому состоянию приближающиеся к гранитам и базальтам.

Щелочные породы благодаря их большому практическому значению приобрели в XX в. значительный теоретический интерес. Они известны из классических работ Н. Уссинга (1911 г.), П. К. Квенселя (1914 г.), В. Брегтера (1920 г.), О. А. Воробьевой (1960 г.). С одной стороны, выдвигались представления об их происхождении из магмы субщелочного, основного, ультраосновного, даже гранитного состава, а разнообразие их объяснялось дифференциацией, происшедшей в результате ассимиляции или вплавления вмещающих пород (Р. А. Дели, 1933 г.; О. А. Воробьева, 1960 г., 1963 г.; А. Штрокайзен, 1960 г.; Д. С. Белянкин, 1926 г.; А. Н. Заварицкий, 1939 г.; Е. А. Кузнецов, 1930 г.; С. Д. Шенд, 1928 г.; Г. Соренсен, 1928 г.; и др.). С другой стороны, все более настойчиво предлагаются гипотезы метасоматического происхождения (Ц. Е. Вегман, 1938 г.; Г. Эккерман, 1948 г.; А. Кодарча, В. Янович, 1958 г.; Р. Горбачев, 1960 г.; Н. А. Волотовская, 1960 г. и др.).

Дифференциация магмы. Какой бы гипотезы — об одной, двух, трех или многих магм — не придерживались ученые, для всех них руководящей являлась проблема дифференциации.

К р и с т а л л и з а ц и о н н а я д и ф ф е р е н ц и а ц и я. Как было сказано выше, процесс осаждения кристаллов в магматических телах был предложен учеными прошлого века: Ч. Дарвином, Пулетт-Скропом, А. Е. Лагорио и др. К ним же в XX в. относится М. Швейг (1903), отметивший процесс погружения кристаллов, их растворение, диффузию и раздельную кристаллизацию двух отдельных расплавов. Подобный же процесс рисуют Г. Томас, Е. Бейли и др. (1924), у которых характерно допущение одновременно основной и кислой магмы и самостоятельного их внедрения.

Распределение вкрапленников в асимметричной диабазовой дайке объяснялось движением магмы (А. А. Полканов, 1928 г.). И. Фогт (1931 г.) придавал значение растворению первых выделений кристаллов, т. е. явлению, выдвинутому М. Швейгом, но не ссылался на него. С возражениями против кристаллизационной дифференциации выступили К. Феннер (1926 г.), Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1936 г.) и др. Левинсон-Лессинг, кроме кристалли-

зационной дифференциации, не объясняющей все многообразие явлений, допускал и другие виды дифференциации.

Ликвация. Одним из факторов дифференциации магмы считалась ликвация (несмесимость) жидкости (Ж. Дюроше; Бекстрем; К. Д. Хрущев, 1894 г.). В качестве факторов, вызывающих ликвацию, предполагалась ассимиляция в синтектически-ликвационной теории Ф. Ю. Левинсон-Лессинга (1897, 1898, 1910 гг.)и в теории ассимиляции-ликвации Р. Дели (1914 г.). Принцип несмесимости для объяснения дифференциации применяли К. Феннер (1931 г.), Н. Сундиус (1926 г.), С. И. Томкеев (1929 г.), Т. Барт (1927 г.), Г. Рид (1919 г.), Н. Гейер (1931 г.), Б. Асклунд (1925 г.), Д. Седергольм (1928 г.), Ф. Гроут (1932 г.), Х. Древер (1960 г.) и др.



Ф. Ю. Левинсон-Лессинг

Отжимание. Важный фактор дифференциации магмы А. Харкер, Н. Боуэн, П. Эскола и Р. Дели видели в отжатии еще жидкой части магмы от уже закристаллизовавшейся. В. Мэд (1925 г.) считал, что этим путем можно объяснить образование экзогенных и эндогенных пегматитовых жилок. Некоторые сомнения относительно применения отжатия высказывали Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1934 г.), Ф. Гроут (1920 г.) и др.

Ассимиляция. Гипотеза ассимиляции, которую предложил впервые Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1897, 1910 гг.), имела много сторонников и противников. А. Холмс (1932 г.) придавал ей исключительное значение. За ассимиляцию высказывались А. Лакруа, Р. Дели (1933 г.), К. Феннер (1919 г.), Г. Бэн (1925 г.) и Т. Фемистер. Н. Боуэн отрицал возможность ассимиляции основных пород кислой магмой, поскольку это недопустимо с его позиции реакционного ряда. Одним из решительных противников ассимиляции был В. Бреггер, который позднее изменил свой взгляд и признал ее.

Смешение магм. Для объяснения промежуточных типов между кислыми и основными породами часто прибегали к старой гипотезе Р. Бунзена об образовании промежуточных типов путем смешения в разных пропорциях двух крайних типов магмы (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Е. Н. Дьяконова-Савельева, 1933 г.; А. Холмс, Гарвуд, 1929 г.; К. Феннер, 1926 г. и др.). Многие исследователи, в частности Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1936), считали возможным не один, а несколько видов дифференциации магмы.

Концентрационная дифференциация. Известное правило Сорэ (или Лудвига-Сорэ), согласно которому возрастание концентрации в более холодных частях растворов в краевых частях интрузивов приводит к дифференциации магмы, нашло отражение в работах Г. Тилла (1888 г.), Ф. Ю. Левинсона-Лессинга (1898 г.), В. Брёггера (1898 г.), Д. С. Белянкина (1915 г.), в опытах Эйлерта (1914 г.) и Г. Весселье (1915 г.). Другая причина дифференциации, указанная В. Брёггеру физиком Биркеландом,—

возможность возникновения в охлаждающейся магме термотоков и перенос некоторых составных частей в жидкой магме этим путем.

Газовый перенос. Еще в работах Эли де Бомона отмечалась некоторая роль в дифференциации летучих компонентов; А. Мишель-Леви отвел им значительную роль, в частности в образовании щелочных магм. Обоснование роли летучих компонентов в дифференциации магмы дал П. Ниггли (1920 г.). Пример применения этой гипотезы к вулканической формации Катмаи показал К. Феннер (1933 г.), к Везувию — А. Риттман (1933 г.), к горе Магнитной — А. Н. Заварицкий (1923 г.).

Дифференциация. Невозможно было признавать существование единой универсальной гипотезы дифференциации магмы. В сущности говоря, идея дифференциации и представления о возможных факторах, ее вызывающих, возникли еще в «домикроскопическую» эпоху петрографии. Отдавая должное успехам «постмикроскопической» петрографии и в особенности петрографии XX в., нельзя упускать из виду преемственность и возрождение этих идей, по существу только разрабатываемых, проверяемых и развиваемых. Это нельзя не учитывать, чтобы не искажать перспективу исторического развития учения о дифференциации и петрогенетических воззрений вообще.

Коренным вопросом генезиса горных пород (петрогенезиса) всегда, в частности в XX в., являлся вопрос о происхождении гранитов. При истолковании происхождения гранитов, кроме представления о гранитной магме, довольно распространенной была гипотеза переплавления (т. е. анатексиса, или палингенеза, по Ж. Седергольму) древней гранитной коры. Этот взгляд был высказан раньше Лоусоном (1887 г.), позднее Ж. Седергольмом (1913 г.), но наиболее полное выражение гипотеза анатексиса нашла развитие в представлениях Р. Дели (1933 г.). Он считал, что кислая часть земной коры — гранитная оболочка, находящаяся теперь в твердом состоянии, когда-то переплавляясь, существовала в жидком виде и давала начало постархейским гранитам. Образование вторичных гранитов путем ассимиляции, по Р. Дели, относится лишь в некоторым частным явлениям, а не к гранитам вообще. Представления об анатектическом происхождении гранитов поддерживал С. И. Бубнов (1928 г.). П. Эскола (1932 г.) придал принципу переплавления своеобразное значение. Исходя из того положения, что гранитная эвтектика является наиболее легкоплавкой силикатной системой, он придавал значение процессу отжимания силикатной жидкости от твердых минеральных масс, т. е. признавал происхождение гранитов двояким путем.

Образование гранитной магмы в результате контактно-метаморфического переплавления гранита габбровыми интрузиями было предложено А. А. Полкановым (1913 г.), Д. С. Белянкиным (1923 г.) и А. Лайтакари (1928 г.). На точке зрения об анатектическом происхождении гранитов, развивая предшествующие взгляды, стояли Дж. Вольф (1928 г.), М. Люжон (1930 г.), А. Холмс (1931 г.) и др.

В XX в. идеи сторонников гранитизации претерпели значительное изменение. В начале века П. Термье (1904 г.) представлял, что граниты происходят на месте осадочных пород вследствие проникновения через фильтрующие колонны таких веществ, как газы, силикаты и щелочи, поступающие из центральной части геосинклинали и распространяющиеся по форме «масляного пятна». Но с выступления французских геологов М. Рубо и Р. Перрена в 1937 г. начинается новый этап признания гранитов, как происходящих в результате двусторонней диффузии ионов в твердых осадочных породах.

Волна «трансформизма», т. е. научного направления сторонников взгляда на образование гранитов и всех других горных пород за счет преобразования осадочных пород, захватила многих геологов. Они считали, что изверже-

ные породы происходят за счет осадочных пород, которые изменяются и проходят через стадию метаморфических пород (минуя стадию расплавления) с помощью диффузии ионов, и, возможно, газов, водных растворов и т. п.

К числу сторонников этого течения относились геологи французской школы (Рубо и Перрен, 1937 г.), скандинавской школы (Вегман и др.) и мн. др. К ним же относятся русские геологи: по гранитам—Н. Г. Судовиков (1946, 1950, 1960 гг.), Н. В. Фролова (1953 г.), Ф. Н. Шахов (1958 г.); по основным и ультраосновным породам — А. Н. Алешков (1929 г.), Н. М. Успенский (1953, 1965 гг.), С. В. Москалева (1960 г.); по порфиритам — Г. Л. Поспелов (1953 г.).

Сторонники происхождения гранитов из магмы, так называемые магматисты, такие как Н. Боуэн (1948, 1953 гг.), А. Ф. Баддингтон (1948, 1964 гг.), Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1934, 1936 гг.), Д. С. Белянкин (1915, 1951 гг.), А. Н. Заварицкий (1926, 1944, 1951 гг.), А. А. Полканов (1936, 1963 гг.), Г. Д. Афанасьев (1951, 1953 гг.) и многие другие стояли на позиции признания родоначальной гранитной магмы и второстепенных сопутствующих ей явлений фельдшпатизации, гранитизации, метаморфизма и метасоматоза.

В последние годы наметился компромисс между этими противоположными направлениями, т. е. признание существования магмы и магматических процессов и вместе с тем явлений метаморфизма. Одни признают магму и сопутствующие ей метаморфические явления, а другие (Шахов, 1960 г.) рисуют обратную последовательность: региональный метаморфизм — контактовый метаморфизм (перекристаллизацию, метасоматоз)—гибридная магма — гранитная магма.

Метаморфизм. Развитие учения о глубинном дислокационном и другом метаморфизме неконтактного типа развивалось в XX в. под знаком учения о зонах, или фациях метаморфизма. Внимание было обращено на поиски факторов метаморфизма, на разграничение контактового метаморфизма и регионального метаморфизма, на разработку учения о дислокационном метаморфизме, или динамометаморфизме, выработку гипотез о происхождении кристаллических сланцев. После открытия г. Рейшем силурийских окаменелостей в кристаллических сланцах южной Норвегии вскоре возникла гипотеза глубинных зон метаморфизма, в разработке которой участвовали Ч. Р. Ван-Хайз (1904 г.), Я. И. Седергольм (1923 г.), Ф. Бекке (1922 г.), Я. Грубенман (1904, 1933 гг.), И. Д. Лукашевич (1904 г.) о минеральных фациях П. Эскола (1920 г.), С. Э. Тилли (1925 г.); об «изоградах» — А. Мишель-Леви (1906 г.) и др. Продолжением и развитием этой идеи явилось учение Ф. Бекке (1909 г.) о регрессивном метаморфизме, или диафторезе. Следует также упомянуть о представлениях В. А. Обручева (1929 г.) о ретрометаморфизме.

«Идея глубинных зон красной нитью проходит через все современное учение о метаморфизме. В ней преломляются и физиография кристаллических сланцев и контроверза о динамометаморфизме» (Левинсон-Лессинг, 1936, стр. 99).

Таким образом, в петрографии большое значение в XX веке имели взгляды на метаморфическое происхождение гранитов и проблема гранитизации (Седергольм, 1913 г.; Ниггли, 1937 г.; Рубо, Перрен, 1937, 1939 гг.; Судовиков, 1954 г.; и др.) и представления трансформистов (Дж. Гудспид и др.) — сторонников взглядов на происхождение изверженных горных пород из осадочных пород с помощью метаморфизма и ультраметаморфизма.

Экспериментальная петрография и моделирование природных явлений. Экспериментальные работы XX в. направлены были на выяснение условий образования и генетических взаимоотношений минералов и горных пород. В основу эксперимента обычно была положена та или иная идея. Такие идеи

проходят через всю историю петрографии, видоизменяясь и возрождаясь в обновленном виде по мере накопления нового материала или введения нового метода, способного по-новому осветить происхождение горных пород в соответствии с основными идеями. К ним относятся идеи о родоначальных магмах, интрузии и дифференциации, глубинных зонах, или фациях метаморфизма, идеи о базальте и граните нептунистов и плутонистов, а позднее трансформистов и магматистов.

Большое значение имели исследования сухих систем для выяснения процессов кристаллизации магматических пород, которые выполнялись Н. С. Курнаковым (1901 г.), Н. В. Култашевым (1903 г.), и работы в этой области, проводимые под руководством Ф. Ю. Левинсон-Лессинга в Петербургском политехническом институте А. С. Гинзбергом (1906, 1915 гг.), П. И. Лебедевым (1910 г.), М. А. Усовым (1913 г.), А. А. Волосковым (1911 г.), а позднее Х. Никогосяном (1939 г.), И. А. Островским (1953 г.) и др.

В текущем столетии важное значение приобрело направление экспериментов, которое возглавлял Н. Боуэн (1915, 1932 гг.), по выяснению последовательности минералообразования в расплавах. В результате им выработана была схема эволюции образования горных пород из единой базальтовой магмы.

Большим вкладом в петрологию явились эксперименты английских исследователей Г. С. Йодера и К. Э. Тилли (1962 г.). В основу ими были положены три серии экспериментов. Первая серия относится к плавлению базальтов при обычных давлениях в сухих системах; вторая — поставлена для тех же базальтов в гидротермальных условиях при давлении водяного пара до 10 *кбар*; третья — проделана при высоком давлении — до 30 *кбар*.

В результате первой серии экспериментов авторам удалось рассмотреть проблему образования магмы и ее эволюции и внести уточнения, относящиеся к температуре и ходу кристаллизации. Вторая серия экспериментов внесла много нового в понимание проблемы плавления и кристаллизации базальтов в водной среде. Было показано, что базальты не могут образовываться при давлении выше 1400 *бар*. Тем самым дана основа для суждения об относительном давлении воды при кристаллизации магматических и метаморфических пород.

После появления работы Г. С. Йодера и К. Э. Тилли активизировались высказывания по проблеме химического и минералогического состава подкорового вещества земли.

В этом направлении большое значение имели эксперименты с породами и их минералами из верхней мантии Земли — эклогитами, гранатами, алмазами и др. Причем на XXI сессии Международного геологического конгресса в 1960 г. доклады Ф. Бойда и И. Иенгленда (Геофизическая лаборатория института Карнеги в Вашингтоне) «Синтез пиропа, алмаза и другик фаз высокого давления» (1960 г.) свидетельствовали об образовании этих минералов при высоком давлении и температуре.

Матхерс в работе «Синтез пиральспитовых гранатов при относительно низких давлениях» доказал образование гранатов при низких давлениях. В то же время алмазы получаются как при высоком (Г. С. Йодер, С. Э. Тилли), так и при низком давлениях. Таким образом при широком распространении идей о происхождении ультраосновных пород (эклогитов и др.) и сопровождающих их минералов при высоких давлениях и температурах существовали также противоположные взгляды на их образование при низких давлениях и температурах.

Следовательно, и общая проблема происхождения пород из верхней мантии на основе экспериментов не решалась однозначно.

В 50-е годы проводятся эксперименты с водосодержащими гранитными и базальтовыми расплавами в условиях высоких давлений (Н. И. Хитаров), изучение минералов и свойств вещества при высоких давлениях и температурах (И. А. Островский, М. П. Воларович), которые дали возможность подойти к решению петрологических проблем, касающихся состава и строения земной коры и верхней мантии.



Д. С. Белянкин

Экспериментальные исследования в связи с разработкой теории метаморфизма в последние годы привели к следующим представлениям. С одной стороны, они показывают зависимость метаморфизма от режима воды и углекислоты, развитые Д. С. Коржинским в 1940—1960 гг. и его учениками В. А. Жариковым в 1961 г. и др., а с другой (эксперименты Г. С. Йодера, 1955 г.) — отрицают закономерности режима воды и углекислоты. На основе экспериментов доказывается участие в метаморфических процессах фильтрационного и кислотно-фильтрационного эффектов (Л. Н. Овчинников, А. С. Шур, 1953, 1956 гг.).

Эксперименты Г. Л. Поспелова и др. (1961 г.) по образованию кристаллических жилок за счет стенок при встречной диффузии реагентов в горных породах показали значение таких процессов в диагенезе и метаморфизме.

Особенностью рассматриваемого периода является развитие техники эксперимента при высоких давлениях и температурах, что дает возможность экстраполировать получаемые данные и распространять их на большие глубины Земли.

В разрешении проблемы гранитов эксперименты имеют важное значение и в большинстве своем проводятся при высокой температуре и давлении, однако имеются примеры синтеза гранита в водной среде и при температуре ниже их точки плавления (Кранк, Ойя, 1960 г., Канада; и др.).

Техническая петрография. Наряду с предложением А. П. Карпинского в 1885 г. о привлечении заводских технических продуктов (шлаков, огнеупоров, керамики и пр.) в число объектов, изучаемых экспериментальной петрографией, были высказаны подобные соображения и Ф. Ю. Левинсон-Лессингом (1908 г.). Исследования в этой области, благодаря этим стремлениям, стали постепенно развиваться, накапливая опыт для создания новой отрасли петрографии.

В начале XX в. В. Е. Грум-Гржимайло были изучены изменения динаса в металлургической печи. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1915 г.) производил опыты по перекристаллизации дунита в мартеновской печи. Необходимо отметить, что И. А. Цмель (1913 г.), работавший в металлургической лаборатории Петербургского политехнического института, на 20 лет раньше исследований Н. Боуэна и Шерера (1932 г.) определил правильные темпера-

туры плавления фаялита и эвтектики фаялит — вюстит. Данные И. А. Цмеля позднее были забыты, и многие пользовались не его результатами, а сильно завышенными определениями Херти и Фиттерера (1929 г.).

Наибольшего внимания заслуживают целенаправленные исследования В. И. Вернадского, Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, Т. Н. Пономарева и В. Е. Грум-Гржимайло. Другие работы рассматривались как разрозненные исследования, возникшие сообразно с их частными задачами.

После Великой Октябрьской социалистической революции были созданы специальные научно-исследовательские институты. В 1919 г. в Ленинграде организован Государственный исследовательский керамический институт (ГИКИ) с отделением в Москве и многие другие в различных городах Советского Союза.

Огромная армия специалистов в разветвленной сети исследовательских институтов, заводских лабораторий и втузов изучала свойства, минералогический состав и структуру заводских продуктов. Советские петрографы, в совершенстве владеющие методами исследования природного камня, стали применять эти методы для изучения технического камня. Число подобных исследований возрастало, а с конца 20-х годов уже накопился достаточный материал для зарождения новой отрасли знаний.

Инициатива создания этой новой отрасли науки — технической петрографии — была проявлена Д. С. Белянкиным, организовавшим в Петрографическом институте Академии наук СССР подотдел по изучению технического камня. Впервые термин — «техническая петрография» был употреблен Д. С. Белянкиным в докладе на заседании Геологической группы Академии наук СССР 26 апреля 1932 г. К этому времени контуры технической петрографии определились достаточно четко, в то время как за границей ее тогда не существовало, да, пожалуй, и до сего времени не существует.

Д. С. Белянкин создал научную школу, представителями которой были Б. В. Иванов, В. В. Лапин, Н. А. Торопов и многие другие. В процессе исследований самых разнообразных продуктов, возникающих в производстве металлургической и силикатной промышленности (огнеупоров, шлаков, стекла и пр.), были подготовлены научные основы для совершенствования существующих и разработки новых методов производства искусственного камня и создана база для физико-химического направления и петрографии естественного камня.

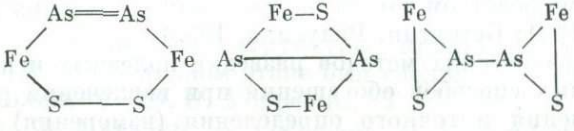
МИНЕРАЛОГИЯ

В начале XX в. в минералогии завершался химический период ее развития. Об его особенностях в этот момент можно судить по определению основных ее понятий и соотношению с другими, смежными и отделившимися от нее родственными науками. Это был сложный и противоречивый этап истории минералогии, в котором перекрещивались и сочетались различные направления и подходы к учению о минералах. Среди них выделялись два основных. В одном из них, представленном работами Г. Чермака, П. Грота, Р. Браунса, Е. С. Федорова, отчасти П. А. Земятченского, А. В. Нечаева и позже А. К. Болдырева, развивался взгляд на минералы как на твердые, преимущественно кристаллические составные части земной коры (Земятченский, 1902; Нечаев, 1912), важнейшими сторонами природы которых считались химический состав и внешняя форма (Болдырев, 1926, стр. 14). В этом подходе, который представлял собой первые шаги кристаллохимического направления в минералогии, главные задачи ее усматривались в изучении химического состава минералов, их кристаллической формы и свойств. Воп-

росы происхождения и изменения минералов отходили при этом на второй план. Другое направление, возглавляемое преимущественно русскими учеными — *В. И. Вернадским, А. Е. Ферсманом и Н. М. Федоровским*, базировалось на том, что минерал — это прежде всего продукт земных химических реакций (в любом фазовом состоянии), протекающих в земной коре (Вернадский, 1908; Федоровский, 1920). При этом подходе главной задачей минералогии считалось исследование минералообразующих процессов земной коры, в котором основное внимание обращалось на динамическое изучение последних, а не только на статическое изучение их продуктов (Вернадский, Курбатов, 1937). Первое направление в минералогии опиралось в основном на кристаллографию (Шафрановский, 1962), которая к этому времени благодаря успешному развитию теории симметрии дисконтинуума (Федоров, 1891; Schoenflies, 1891) и прогрессу в изучении структуры кристаллов становится вполне самостоятельной ветвью физико-математического цикла наук и по-новому влияет на минералогию (Федоров, 1920; Вернадский, 1928). В основе *второго направления лежали преимущественно идеи недавно возникшей* науки — физической химии и совсем еще новой ветви геологических наук — геохимии, основоположниками которой были В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман.

Вследствие этого не только понятие минерала, но и понятие минерального вида разными учеными определялось неодинаково, причем при широком («геохимическом») определении минерала, по В. И. Вернадскому, вообще нельзя было говорить о виде, поскольку минеральные жидкости и газы не образуют индивидов, а без этого понятие вида (как логической совокупности индивидов) вообще не существует (Поваренных, 1954). За основу классификации минералов одни принимали химико-кристаллографический принцип (с дробным делением на группы по составу и подгруппы по сингонии — Болдырев, 1926; Tschermak, 1921; Groth, Mieleitner, 1921), другие — простой химический принцип, пригодный для всех соединений любого агрегатного состояния (Вернадский, 1959). Если к тому же добавить, что, несмотря на выделение из минералогии петрографии и учения о рудных месторождениях, к числу минералов в этот период все еще относились некоторые моно- и *полиминеральные горные породы и руды — мел, мрамор, гипс*, боксит, лимонит, а также каустобиолиты — угли, нефть, асфальт, озокерит и другие (Земятченский, 1902; Нечаев, 1912; Федоровский, 1920), то легко себе представить, как трудно было тогда сформулировать строгое определение основных понятий минералогии или дать уловлетворительную и твердую схему классификации минералов.

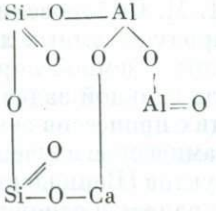
Так называемые структурные формулы минералов, построенные на валентных отношениях атомов, которыми тогда стали широко пользоваться (Браунс, 1904; Groth, 1905; Tschermak, 1921; Вернадский, 1959, стр. 116—141), были гипотетичны, и каждый крупный минералог предлагал свое начертание формулы минерала, стремясь отразить в ней, как ему казалось, наиболее важные химические функции атомов (Поваренных, 1964). Так для арсенопирита, например, предлагались следующие варианты «структурных» *формул:*



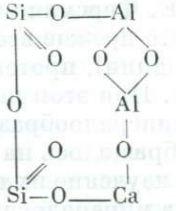
«Структурная» формула кальциевого полевого шпата — анортита $Ca\,[Al_2Si_2O_8]$ также трактовалась по-разному, как это видно на следующих

схемах:

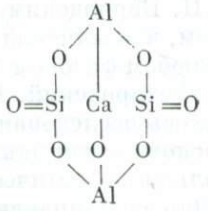
По П. Гроту



По Р. Браунсу



По В. И. Вернадскому



По существу, в этих формулах отражались попытки предугадать расположение атомов в составляющих минералы молекулах, исходя из косвенных соображений о химической природе этих атомов, а также на основе данных о свойствах минералов и их поведении при разрушении кислотами и при выветривании и изменении в природных условиях (Браунс, 1904; Groth, 1905; Вернадский, 1959, стр. 425). К сожалению, эти структурные схемы были очень далеки от картины истинного расположения атомов в пространстве, но, привлекая своей простотой и наглядностью, они завоевали популярность и вошли во все руководства по минералогии, просуществовав почти до 1940 г. и оказав в конце концов тормозящее влияние на внедрение и утверждение новых кристаллохимических обобщений в этой области, полученных на основе экспериментальных структурных исследований.

Однако первая четверть XX в. прошла в минералогии под знаком полного господства выработанных еще в конце прошлого столетия представлений молекулярной химии. Вместе с тем за этот период времени были достигнуты весьма значительные успехи в области аналитической химии минералов и особенно далеко продвинулось точное изучение различных физических их свойств. Был уточнен состав многих старых минералов, преимущественно силикатов с широким изоморфизмом элементов, а также определен состав нескольких сотен вновь открытых минеральных видов. За этот период был в основном закончен выпуск самых полных сводок по химической характеристике всех минералов, которые издавались К. Хинце (Hintze, 1898—1939) и К. Дельтером (Doelter, 1911—1931).

Применение теодолитного приспособления к поляризационному микроскопу и введение в практику иммерсионного метода позволили детально изучить оптические константы минералов (Д. Ван дер Кольк, А. Роджерс, Э. Ларсен), на основе которых Н. Г. Винчелл и А. Н. Винчелл опубликовали «основы оптической минералогии» (Winchell, Winchell, 1909), а Э. Ларсен в 1921 г. издал «Таблицы для определения прозрачных минералов» (Palache, 1938), значительно дополненные им через 13 лет вместе с Г. Берманом (Larsen, Berman, 1934).

Введение в практику металлографического микроскопа дало возможность столь же полно изучить оптические и многие другие свойства непрозрачных рудных минералов (Д. Мердок, У. Деви, И. Фарнэм, Ф. Ю. Райт, Г. Шнейдерхен, П. Рамдор, Ж. Орсель, И. Ф. Григорьев, М. Н. Шорт и др.) и сделать вскоре этот метод (подобно иммерсионному методу для прозрачных минералов) могучим средством для их определения и изучения в полированных шлифах (Short, 1931; Бетехтин, Радугина, 1933).

Развитие геофизических методов разведки полезных ископаемых и применение различных способов обогащения при извлечении руд потребовали детального изучения и точного определения (измерения) удельного веса магнитных, электрических и флотационных свойств минералов (Palache, 1938; Tertsch, 1947). На базе массовой механической обработки металлов и сплавов возник интерес к пластическим свойствам кристаллов, среди кото-

рых изучение пластичности и сжимаемости минералов также получило развитие, но уже преимущественно благодаря запросам геологии и тектоники и, кроме того, в связи с изучением поведения ледников.

По аналогии с изучением твердости металлов методом И. А. Бринеля в минералогию американцами Р. Смитом и Г. Сандландом в 1922 г. был введен микротвердометр с индентером в виде квадратной алмазной пирамиды, который впоследствии стал основным прибором для точного измерения твердости минералов (Поваренных, 1963).

Кроме того, большой скачок вперед получило генетическое направление в минералогии, особенно изучение парагенезиса минералов. Правда, в значительной мере это было достигнуто благодаря работам петрографов по изучению минералогического состава горных пород (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Д. С. Белянкин, П. Ниггли, В. Н. Лодочников, П. Эскола и др.) и специалистов по изучению минералогии гидротермальных (Д. Ф. Кемп, В. Линдгрен, В. Эммонс и др.) и пегматитовых (В. К. Брёггер, И. Г. Фогт, А. Лакруа, А. Е. Ферсман и др.) месторождений. На основе макро- и микроскопических наблюдений взаимоотношений минералов тщательно изучались вопросы последовательности их образования и парагенетические сочетания в основных минералообразующих процессах. Постепенно теоретические соображения о генезисе минералов получили физико-химическое обоснование (И. Г. Фогт, П. Ниггли, В. М. Гольдшмидт).

В 1909 г., развивая представления И. Ф. Брейтгаупта, австрийский минералог Ф. Корню исследованиями в области природных коллоидов положил начало физико-химическому изучению весьма распространенных коллоидно-дисперсных минеральных агрегатов — новой области минералогии, которой во второй четверти нашего столетия суждено было выделиться в самостоятельную ветвь науки (Чухров, 1955).

Но одновременно с описанными изменениями в минералогии в первой четверти XX в. на ее материале понемногу и вначале незаметно шла другая, чрезвычайно важная работа по изучению внутреннего строения вещества, основанная на результатах двух великих открытий в физике, происшедших на рубеже двух столетий. Этими открытиями явились обнаружение В. К. Рентгеном в 1895 г. *X*-лучей и установление В. Фридрихом и П. Книпингом в 1912 г. предсказанного М. Лауэ явления дифракции этих лучей в кристаллах (Лауэ, 1956). С выводом основной формулы дифракции рентгеновских лучей (формула Брэгга — Вульфа) и экспериментальным обоснованием У. Г. и У. Л. Брэггами закона отражения их от систем атомных плоскостей кристаллов стало возможным определение структуры кристаллов, точное измерение параметров их элементарной ячейки в бесконечной кристаллической решетке, а следовательно, и межатомных расстояний. В связи с этим было установлено, что такое, казалось бы, весьма отвлеченное, сугубо умозрительное геометрическое построение, каким представлялся большинству ученых вывод Е. С. Федоровым и А. М. Шенфлисом 230 пространственных групп симметрии, получило не только реальное подтверждение, но и сделалось, как еще раньше предсказывал П. Грот (Groth, 1905—1919), основным законом современной кристаллографии дисконтинуума, без которого сейчас не может обойтись ни один исследователь структуры кристаллов (Лауэ, 1956; Шафрановский, 1962).

Основной вклад в изучение структуры кристаллов после В. Г. и В. Л. Брэггов на этом начальном этапе был сделан Дж. Уэстом, Р. Уайковым, Л. К. Полингом, Б. Э. Уорреном, Г. Менцером, У. Тейлором, В. Захариасеном, Ф. Махачки, Б. Госнером, И. Нарай-Сабо и др. (Strukturbericht, I—II, 1931—1932). Вслед за изучением структуры простых веществ бинарных соединений главное внимание перечисленных исследова-



А. Е. Ферсман

телей было обращено на изучение строения силикатов — самого обширного и самого проблематичного в структурном и химическом отношении класса минералов. В течение всего лишь пяти лет (с 1925 по 1930 гг.) строение всех наиболее важных силикатов было расшифровано [1] (Брэгг, 1934; Шибольд, 1937). Это позволило минералогам одним из первых проникнуть в тайну строения кристаллического вещества сложного состава и на этой основе приобщиться к идеям новой — рентгеновской — кристаллохимии, в корне изменившей вскоре многие, казавшиеся фундаментальными представления о химизме и в особенности о гипотетической конституции минералов.

Главнейшим выводом из рентгеноструктурного анализа минералов был факт установления не молекулярного, а атомного (ионного) их строения, в котором каждый атом (или катион) закономерно окружен другими атомами (или анионами), образуя координационные (катион-анионные) многогранники различной формы. Последние, определенным образом соединяясь друг с другом в пространстве, составляют непрерывную периодическую систему материальных частиц кристаллического тела.

За исключением металлических кристаллов и соединений типа алмаза составляющие всех остальных кристаллов считались ионами — простыми, как, например K^+, Ca^{2+}, Al^{3+}, Si^{4+} и т. п. и сложными, связанными в радикалы — $[CO_3]^{2-}$, $[SO_4]^{2-}$, $[PO_4]^{3-}$ и т. п. Вскоре были определены размеры строительных частиц кристаллов: сперва радиусы атомов (Брэгг, 1920 г., 1926 г.; П. Ниггли, 1921 г.), а затем ионные радиусы (И. Вазашерна, 1923 г.; В. М. Гольдшмидт, 1926 г.; Л. Полинг, 1927 г.). Это сыграло огромную роль в дальнейшем развитии теорий изоморфизма, полиморфизма, морфотропии и теории свойств кристаллов.

Наряду с У. Л. Брэггом, П. Ниггли и Л. Полингом наиболее значительная роль в становлении основ новой кристаллохимии принадлежит В. М. Гольдшмидту. Он первый определил задачу кристаллохимии как науки, устанавливающей закономерные связи между кристаллической структурой и химическим составом вещества, проявляющихся в их свойствах (Goldschmidt, 1922—1926), а также дал первоначальную формулировку основного закона кристаллохимии, которая гласит, что «кристаллическая структура какого-либо вещества обусловливается числом, величиной и поляризационными свойствами его структурных единиц, каковыми являются атомы, ионы или группы атомов (Гольдшмидт, 1937, стр. 54). На основе «рефрактометрических» радиусов ионов фтора и кислорода, вычисленных

[1] Ученые России, а затем молодой Советской республики не участвовали в этом важном этапе структурного исследования минералов вначале из-за первой мировой, а позже из-за гражданской войн, сильно подорвавших экономику страны и ее научную базу. Первое структурное изучение силиката катаплеита было выполнено Б. К. Бруновским в 1936 г.

И. Вазашерной в 1923 г., В. М. Гольдшмидт в 1926 г. определил радиусы подавляющего большинства ионов распространенных элементов, которые впоследствии легли в основу всех дальнейших теоретических выводов по структуре и свойствам кристаллов. Вслед за геометрическими соображениями А. Магнуса о структуре молекул В. М. Гольдшмидт дал более строгое стерическое обоснование границ устойчивости координационных чисел ионов на основе отношения их радиусов. Продолжая работу Х. Г. Гримма (Grimm, 1922) по изоморфизму элементов в кристаллах, В. М. Гольдшмидт (Goldschmidt, 1922—1926) развил дальше учение об изоморфном замещении элементов и установил основные критерии, определяющие степень совершенства и границы изоморфизма, особенно подчеркивая при этом влияние поляризации ионов. Он систематически изучал морфотропические переходы между важнейшими типами структур бинарных соединений, наметил для них примерные границы отношений радиусов ионов и выделил координационные, слоистые, комплексные (островные) и молекулярные решетки. В. М. Гольдшмидт (1937) сделал попытку вывести кристаллохимическую формулу твердости минералов, а также одновременно с другими дал принципы общей кристаллохимической систематики силикатов.

Большую роль в обновлении и перестройке минералогии на кристаллохимической основе в период с 1930 по 1940 г. сыграли также работы А. Е. Ферсмана. В ряде статей и особенно в четырехтомной «Геохимии» А. Е. Ферсман (1932—1939), как и В. М. Гольдшмидт, развивал новые представления о составе и строении минералов, опираясь на размеры, валентности и другие свойства атомов и ионов. На основе электростатического уравнения энергии кристаллической решетки А. Ф. Капустинского А. Е. Ферсман вычислил энергетические коэффициенты (эки и вэки) катионов и анионов и ввел, таким образом, энергетическое направление в кристаллохимию (Ферсман, 1935), успешно применив его к анализу твердости и других свойств минералов, к решению вопроса о последовательности их кристаллизации и законах парагенезиса в различных процессах. Он подметил и обосновал условия полярности изоморфного замещения элементов (Ферсман, 1936а), вскрыл некоторые важные закономерности в природе окраски минералов (Ферсман, 1936б) и тетраэдрической координации ряда элементов и особенно много сделал в области выяснения генезиса пегматитовых минералов (Ферсман, 1940).

Как же отразились данные кристаллохимической теории и рентгеноструктурного анализа на развитии минералогии? Каково их влияние на нее и в чем его сущность? Это влияние на современную минералогию оказалось столь же огромным и важным по своему значению, как точное определение химического состава минералов на рубеже XVIII и XIX столетий. Начиная с первой четверти XX в. природа минерала познается уже не односторонне (химически), а в целом, т. е. в единстве и взаимообусловленности его с о с т а в а и с т р о е н и я. С этого момента наступает новый, к р и с т а л л о х и м и ч е с к и й, период в истории минералогии, ознаменовавшийся резким переломом в ее развитии. Оценивая значение рентгеноструктурного анализа и его первых результатов для судьбы минералогии, В. И. Вернадский писал: «Это одно из величайших открытий точных наук быстро сдвигает минералогию на новый путь и открывает перед ней негаданные огромные перспективы... Исходя из этого эмпирического обобщения, можно с уверенностью утверждать, что будущее вступившей на этот путь минералогии чревато величайшими последствиями. Все истекшее десятилетие в минералогии находится под влиянием и впечатлением этого открытия. Сейчас идет энергичная переработка всего научного материала и приспособление его к новым представлениям... Уже добыто огромное количество измерений, и

весь облик минералогии изменяется до неузнаваемости» (Вернадский, 1928, стр. 32).

Рентгеноструктурный анализ давал возможность не только определять атомную структуру минералов, но в первую очередь вычислять параметры их кристаллической ячейки, являющиеся характеристическими величинами, сменившими так называемые топические оси, введенные в конце XIX столетия Ф. Бекке, В. Мутманом и А. Э. Таттоном (Гольдшмидт, 1937). Изучение структуры и определение параметров ячейки минералов, начавшиеся с 1913 г., развивались в темпе геометрической прогрессии. Уже к 1925 г. структуры подавляющего большинства простых веществ и бинарных соединений были расшифрованы, а к 1930 г. определены структуры важнейших силикатов. В период с 1930 по 1940 г. было изучено строение многих более редких силикатов и минералов других классов (Strukturbericht, III—VI, 1934—1941; Bragg, 1937). С новой активностью исследование структуры минералов развернулось после второй мировой войны, причем на арену, помимо старых, западноевропейских и американских, структурных школ, выдвинулись также советская и японская кристаллохимические школы. В этот период (с 1945 по 1960 гг.) были определены структуры таких сложных алюмосиликатов, как лосонит, ильваит, эпидот, цоизит, турмалин, диоптаз, миларит, гадолинит, осумилит, биотит, эпидидимит и др., структуры кальциевых и марганцовых силикатов — куспидина, тиллеита, волластонита, ксонотлита, родонита, пироксмангита, ловенита, ниокалита, сейдозерита, гиллебрандита, ловозерита и др., а также строение сложных минералов других классов — калицинита, малахита, кетнерита, людвигита, еремеевита, суанита, буры, пробертита, ланаркита и многих других минералов (Strunz, 1957).

Установление кристаллической природы минералов еще более обнажило резкую противоположность между ними и аморфными веществами, коллоидно-дисперсными минеральными агрегатами, жидкими растворами и другими природными гетерогенными минеральными телами, входившими ранее в объем понятия «минерал», подчеркнув тем самым нерациональность дальнейшего их объединения в рамках минералогии. Большой накопленный фактический материал по всем этим объектам, разработка специальных методик и постановка принципиально различных практических задач привели к дальнейшей дифференциации минералогии на этом этапе и ответвлению от нее ряда новых научных отраслей, в большинстве тесно с нею связанных.

Помимо геохимии, которая возникла на базе минералогии раньше других, как атомная химия земной коры (Вернадский, 1934; Ферсман, 1933—1939), из минералогии выделились сначала гидрохимия и учение о каустобиолитах (угле и нефти), а несколько позднее, в 40-х годах — наука о природных коллоидах, так называемая коллоидно-дисперсная минералогия (Седлецкий, 1945), особенно ее практически наиболее важная часть — «минералогия» глин, охватывающая преимущественно дисперсные слоистые силикаты (Grimm, 1953).

Дифференциация минералогии и выделение из числа ее объектов ряда некристаллических минеральных веществ и тонкодисперсных минеральных агрегатов вызвали необходимость изменения определения понятия минерала и приведения его в соответствие с новым содержанием (Соболев, 1947; П. Рамдор, 1948 г.; А. Н. Винчелл, 1949 г.; Х. Штрунц, 1949 г.; А. С. Поваренных, 1953 г.). В качестве ведущего признака в новых определениях понятия минерала выступает т в е р д о е, к р и с т а л л и ч е с к о е его состояние, подлинным воплощением которого является природный кристаллический индивидуум.

Углубление теоретических представлений об изоморфизме элементов и обилие новых фактических данных, свидетельствующих о широком распро-

странении его в минеральном мире и обусловливающих наличие многих химически непрерывных серий, потребовали пересмотра также старого определения понятия минерального вида, уже не отражающего к этому времени истинной сущности минералов. Еще в 1927 г. Н. Г. Винчелл и А. Н. Винчелл (Winchell, Winchell, 1927) впервые высказали мысль, что «минеральный вид» должен включать все индивиды аналогичного строения, которые связаны с непрерывностью в изменении химического состава. Позже аналогичные, но более строго обоснованные определения были предложены П. Ниггли (Niggli, 1945, 1949), В. С. Соболевым (1947), Э. Бранденбергером (Brandenberger, 1948) и Ж. Орселем (Orsel, 1954). Но наиболее последовательным в этом отношении оказался А. Н. Винчелл, который в ряде статей и учебников (Winchell, 1933, 1942, 1949) в связи с новым определением понятия вида предложил для некоторых минеральных видов с совершенным изоморфизмом элементов новые названия, построил для них специальные диаграммы непрерывно изменяющихся свойств и т. п., что, однако, шло в разрез с общепризнанными, привычными взглядами и среди большинства минералогов до 50-х годов не получило единодушного признания.

Расшифровка структур минералов выявила специфические типы пространственной связи атомов или их комплексов в виде островных, цепных, слоистых, каркасных и других структур и представила в ином свете сложную и запутанную химию силикатов и алюмосиликатов. Это явилось толчком к созданию новой, подлинно кристаллохимической классификации сначала только структурно изученных силикатов (В. Л. Брэгг, 1927, 1937 гг.; В. М. Гольдшмидт, 1931 г.; Э. Шибольд, 1932—1933 гг.), а затем на основе метода аналогии и учета свойств — для всего класса в целом (Г. Берман, 1937 г.; Х. Штрунц, 1937 г.; К. Шварц, 1937 г.; В. С. Соболев, 1949 г.; А. Н. Винчелл, Г. Винчелл, 1951 г.). Вслед за тем кристаллохимический принцип классификации был распространен и на некоторые другие классы — фториды (Ч. Пэлач, Г. Берман, К. Фрондел, 1951 г.) частично сульфиды (Н. Хиллер, 1953 г.; Ф. Махачки, 1954 г.) и окислы (Ф. Махачки, 1953 г.).

В результате рентгеноструктурного анализа силикатов было установлено, что амфотерный алюминий играет в них двойственную роль, выступая в одних условиях как основание (в 6-ой координации) и образуя силикаты Al, а в других — как «кислотный» радикал — заместитель Si (в 4-ой координации), образуя алюмосиликаты. Таким образом, противоположные и взаимоисключающие теории П. Грота и В. И. Вернадского оказались двумя сторонами единой, более общей кристаллохимической теории силикатов. Алюмокислотная теория В. И. Вернадского, верная лишь по отношению к подлинным алюмосиликатам (хотя никакого каолинового ядра в них не было обнаружено) оказала положительное влияние на работы по рентгенографической расшифровке структур некоторых алюмосиликатов в самом трудном, начальном, периоде развития этого метода (Шибольд, 1937, стр. 240).

Определение внутреннего строения минералов открыло также новые возможности для познания свойств минералов, установления зависимости последних не только от их состава, но и от структурных особенностей. Так, в 1932—1934 гг. В. Л. Брэгг и Э. Шибольд дали новое объяснение оптических свойств силикатов. Затем Э. Шибольд (1937) и М. Шепел (Shappel, 1936) выяснили основные причины спайности и степени ее совершенства. В 1926 г. В. М. Гольдшмидт (Goldschmidt, VIII, 1926) и несколько позже А. Е. Ферсман (1934) установили некоторые кристаллохимические факторы, определяющие твердость минералов. В 1950 г. Х. Винклер (Winkler, 1950) связал с кристаллохимическими особенностями тепловые и механические

свойства. Кристаллохимическая интерпретация ряда свойств минералов была дана также в 1945—1949 гг. Н. В. Беловым (1945, 1947) и В. С. Соболевым (1949).

Несмотря на самостоятельное развитие кристаллографии и естественное некоторое ее отдаление от минералогии в конце XIX в., в рассматриваемый период на почве изучения внутреннего строения минералов проявляется заметная интеграция этих наук. Характеризуя этот процесс, можно сказать словами В. И. Вернадского, что «кристаллография не отделилась от минералогии, но охватила ее по-новому, проникла в ее самые основные построения, коренным образом их изменила» (Вернадский, 1928, стр. 28).

Поскольку предметом изучения современной минералогии являются лишь природные кристаллы, прежние связи ее с кристаллографией (которые, кстати, никогда не прерывались) стали еще более укрепляться, и сейчас уже говорят о новом разделе последней — о «минералогической кристаллографии» (Шафрановский, 1966). Развитие ее проходило в определенной последовательности. Первым был период главным образом морфологической кристаллографии, в течение которого изучалась симметрия правильных (идеальных) многогранников как в связи с федоровской идеей определения минералов и синтетических кристаллов по их форме, так и на основе преподавания минералогии. Причем в СССР, Германии и отчасти во Франции курс кристаллографии отделен от минералогии и имеет самостоятельные пособия, тогда как в США, Англии и Италии он слит вместе с минералогией в едином учебнике.

С 1935 г. начинается дальнейшее развитие теории симметрии многогранников, которое осуществляется почти исключительно усилиями советских ученых. Так, А. В. Шубников в 1935 г. указывал на кристаллографическое различие пяти геометрических тождественных форм куба, а Г. Б. Бокий в (1940) на этом основании из 47 простых форм вывел 193 кристаллографических их аналога. В 1948 г., продолжая это направление, И. И. Шафрановский вывел 1403 структурные разновидности тех же простых форм, различающихся по симметрии пространственных групп. Далее, переходя от идеальных плоскогранных форм кристаллов к реальным индивидам минералов, И. И. Шафрановский и В. И. Михеев развили учение о вершинных, реберных и гранных формах (Шафрановский, 1961), охватывающих все разновидности положительных и отрицательных, а также кривогранных кристаллов (скелетные формы, формы растворения, двойники прорастания и т. п.). Это учение в известной степени дополняется учением В. И. Михеева о гомологии кристаллов, значительно расширяющим прежние понятия о симметрии (Михеев, 1961).

Одновременно с минералогической кристаллографией успешно развивалась также структурная минералогия (кристаллохимия минералов), возглавляемая в СССР Н. В. Беловым, в США — Д. М. Бюргером, в Японии — Т. Ито, в Канаде — Л. Г. Бери, в Швейцарии — В. Новацким. Однако главный вклад в эту область безусловно принадлежит Н. В. Белову, который начиная с 1950 г. в своих «Очерках по структурной минералогии» (1950—1967) систематически анализирует структурные особенности отдельных минералов и минеральных групп в связи с их составом, свойствами и морфологией, закладывая новые кирпичи в фундамент современной минералогии.

Генетическое направление в минералогии, заложенное еще в начале нашего столетия (Вернадский, 1908), не оказало на ее развитие столь же существенного влияния, как направление кристаллохимическое. И это вполне естественно, так как в генетическом подходе к изучению минерала не раскрывалась какая-либо новая сторона его природы, а выяснялись лишь условия его образования и пределы устойчивости, т. е. законы многосторон-

ней и сложной зависимости между минералом и окружающей его естественной физико-химической средой. Поэтому в генетическом направлении сразу же наметились два разных подхода: парагенетический и морфогенетический.

С позиции первого минералы рассматривались в своей естественной совокупности, которая определялась соотношением тех или иных компонентов в условиях определенных значений давления и температуры, что во многих случаях можно было контролировать путем эксперимента. Этот подход оказался весьма продуктивным, представляя собой совершенно новый аспект в решении проблемы генезиса минералов, но в силу того, что минеральные совокупности (парагенетические ассоциации) являлись объектами, с одной стороны петрографии, а с другой — учения о рудных месторождениях, разработка относящихся сюда вопросов выполнялась в рамках смежных с минералогией геологических наук. Это были прежде всего петрологи, сначала И. Фогт, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и А. Н. Заварицкий, а затем В. М. Гольдшмидт, П. Ниггли, П. Эскола и, в особенности, Д. С. Коржинский (1940, 1948, 1957), который в своих фундаментальных работах по парагенезису минералов магматических и метаморфических пород не только применил, но и глубоко развил теоретические основы физико-химического метода парагенетического анализа минералов. В отношении анализа парагенезисов рудных минералов заметный вклад был сделан А. Г. Бетехтиным (1953).

В морфогенетическом подходе внимание минералогов фиксировалось на минеральном индивиде, на тонких деталях, запечатлевших особенности его зарождения, роста и изменения. Этот онтогенетический метод изучения «жизни» минералов, начало которому было положено еще в XIX столетии, позволял восстанавливать на основе точных наблюдений постепенный ход развития минерального индивида и, таким образом, давал возможность судить об условиях его формирования. Работы в этом направлении были проделаны Г. Г. Леммлейном, И. И. Шафрановским, Г. Н. Вертушковым, Д. П. Григорьевым и многими другими.

К онтогенетическому методу тесно примыкают очень важные по своим *результатам минералотермометрические исследования. Этот новый метод* исследования возник в конце первой половины нашего столетия и имеет своей целью изучение газово-жидких включений в минеральных индивидах, химического состава этих включений и температуры их гомогенизации. Большой вклад в его развитие был сделан Н. П. Ермаковым (1948, 1950), Ф. Г. Смитом (Smith, 1953), А. И. Захарченко, Ю. А. Долговым, В. А. Калюжным и др. Разработанная ныне методика исследования позволяет с большой степенью точности восстанавливать для каждого минерального индивида химический состав среды и физико-химические условия, господствовавшие в период его образования.

Начало второй половины нашего столетия отмечается заметными сдвигами в кристаллохимии и, соответственно, в минералогии — переходом их на новый, более высокий уровень развития. Эти сдвиги идут по нескольким направлениям. Одно из них относится к общей теории кристаллохимии, основные положения которой сложились еще в конце 20-х годов. Теперь они подверглись серьезной критике, и в первую очередь это коснулось концепции чисто ионной связи в соединениях и вытекающего отсюда принципа Магнуса — Гольдшмидта (Б. Ф. Ормонт, П. В. Грушвицкий, В. И. Лебедев, А. С. Поваренных). В результате поляризационные представления в кристаллохимии заменяются концепцией электроотрицательностей (У. С. Файф, Г. Рамберг, Р. Сандерсон, А. С. Поваренных, С. С. Бацанов и др.), позволяющей приближенно оценивать долю ковалентной связи в промежуточных

(ионно-ковалентных) соединениях, к которым принадлежит большинство минералов. Использование данных о состоянии химической связи в совокупности с другими кристаллохимическими факторами и учетом особенностей строения электронных оболочек атомов позволяет значительно глубже понять и точнее истолковать закономерности строения и свойств минералов. Благодаря этому была дана более точная формулировка основного закона кристаллохимии (Поваренных, 1962), уточнены факторы, определяющие изоморфизм элементов в минералах, и раскрыта природа многих свойств последних. Для таких свойств, как плотность и твердость (Поваренных, 1961, 1963), установлена строгая математическая связь с кристаллохимическими параметрами минералов, позволяющая вычислять по ним величины этих свойств и, наоборот, по свойствам получать общую информацию о деталях структуры еще не изученных минералов.

Другое направление успешного развития — это структурная минералогия, сделавшая скачок вперед на основе применения новых («прямых») методов рентгеноструктурного анализа. В течение последних 15 лет было расшифровано строение большинства сложных силикатов с крупными катионами (Белов, 1961) и открыто много совершенно новых (по сравнению с «классическими») типов островных, кольцевых, цепных, слоистых и каркасных структур. На этой основе были выявлены новые закономерности во взаимодействии катионов с кремнекислородными радикалами в виде активного влияния размеров первых на форму и расположение последних, а также установлены гетерогенные, преимущественно слоистые и каркасные кремнекислородные структуры с Be, B, Ti, Zr (Бакакин, Белов, 1964), позволяющие вновь, но уже на новой основе вернуться к представлениям В. И. Вернадского о боро-, титано- и цирконосиликатах и т. п. (Вернадский, Курбатов, 1937). Фактически сделан следующий крупный шаг («вторая глава», по Н. В. Белову) в структурной минералогии силикатов, в котором практический и теоретический вклад советской кристаллохимической школы под руководством Н. В. Белова является основным. В этот же период были предложены более совершенные схемы классификации минералов, базирующиеся на парагенетическом (Костов, 1954) и кристаллохимическом (Machatschki, 1953; Поваренных, 1956, 1966; Strunz, 1957; Барсанов, 1959) принципах, под различным углом зрения и с различной степенью полноты отражающие достижения теоретической мысли в современной минералогии.

ГЕОХИМИЯ

Геохимия — история атомов Земли — оформилась в качестве самостоятельной отрасли геологии в начале XX столетия в России. Ее основателем был гениальный русский ученый Владимир Иванович Вернадский.

Предмет геохимии — атомы, закономерности их распространения в земной коре, их поведение в магматических расплавах, холодных и горячих водных растворах, в живых организмах, атмосфере и других природных системах, их бесконечные перемещения (миграция) из одних природных тел в другие.

Геохимический подход к некоторым вопросам геологии имел место уже в XVII—XVIII вв.[1] Так, элементы истории природных вод и атмосферы были намечены в трудах Р. Бойля, а Х. Гюйгенс подошел к пониманию жизни как космического явления.

[1] Проблематика, которая позднее стала предметом геохимии, вероятно, своими корнями уходит в античную эпоху. А. Е. Ферсман указывал, что отдельные геохимические построения встречаются уже у Теофраста и Плиния.

В XVIII столетии М. В. Ломоносов, намного опережая свое время, настаивал на внедрении физики и химии в геологию. В книгах «О слоях земных», «О рождении металлов» он касался ряда геохимических проблем. Современник Ломоносова А. Лавуазье, разрушив теорию флогистона, заложил основы геохимии элементарных газов атмосферы и геохимии природных вод. Среди ученых XVIII столетия, близких к геохимическим идеям, следует также назвать Ж. Л. Бюффона, русского минералога В. М. Севергина, сербо-хорватского мыслителя Р. Бошковича, немецкого химика Рейли, польского врача и химика Е. Снядецкого. В их трудах намечается мысль о геологической роли живых организмов — основе будущей биогеохимии. Дальнейшее развитие этих идей мы видим у натуралистов первой половины XIX столетия. Таковы представления А. Гумбольдта о влиянии жизни на окружающую среду и труды плеяды блестящих химиков, установивших геохимическое значение зеленых растений — Ж. Дюма и Ж. Буссенго во Франции, К. Шпренгеля и Ю. Либиха в Германии.

В накоплении данных о химическом составе горных пород, минералов и вод исключительно велика роль шведского химика И. Я. Берцелиуса. Сам термин «геохимия» впервые был предложен в 1838 г. швейцарским химиком Шёнбейном. В 1842 г. он писал: «Уже несколько лет тому назад я публично 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 на относительную древность этих образований и в них погребенных остатков допотопных растений и животных» (цит. по А. Е. Ферсману, 1941, стр. 119).

В середине XIX столетия почти одновременно были опубликованы крупные обобщающие труды [1] немецких ученых К. Бишофа, И. Брейтгаупта и француза Эли де Бомона, в которых описывались химический состав земной коры, круговорот веществ и многие другие геохимические явления. «В этих работах,— писал В. И. Вернадский,— мы имеем уже ясные и прочные корни основных данных геохимии. Если бы кто-нибудь мог в то время, скажем в 1850 г., охватить весь этот материал сразу, он дал бы нам уже тогда в в XIX в. геохимию, сложившуюся, однако, лишь в XX в.

Никто не мог этого дать благодаря своеобразной атмосфере геологической работы в то время» (Вернадский, 1954—1960, т. I, стр. 22).

Во второй половине XIX столетия возникли новые предпосылки для становления геохимии. К ним следует отнести открытие в 1859 г. Г. Р. Кирхгофом и Р. Бунзеном спектрального анализа, позволившего определять ничтожные следы элементов в горных породах, изучать химический состав космических тел и таким образом установить химическое единство космоса.

Другое событие огромной важности — открытие в 1869 г. Д. И. Менделеевым периодического закона — строго научной систематики химических элементов. Д. И. Менделеев в «Основах химии» и особенно в своих лекциях касался многих геохимических проблем. Так, им было отмечено, что в земной коре наиболее распространены элементы с малыми атомными весами.

Из работ конца XIX столетия большое значение имели исследования американского химика-минералога Ф. У. Кларка, который в 1889 г. сделал

---

[1] К. Бишоф начал публиковать труд по «физической» и «химической» геологии в 1847 г. (Bischof, 1847). Он был натуралистом и особенно подробно рассмотрел химические процессы, связанные с деятельностью воды в земной коре. Эли де Бомон опубликовал свой труд в 1846 г. Будучи приверженцем плутонизма, он сосредоточил основное внимание на магматизме. И. Брейтгаупт в 1849 г. обобщил результаты работ Фрейбергской минералогической школы. Он и В. М. Севергин являются основателями учения о парагенезисе минералов.

попытку вычислить средний состав земной коры [1]. В дальнейшем Кларк неоднократно уточнял свои данные и расширял число элементов. Этой работе он отдал свыше 40 лет жизни. «Эти данные — числа Кларка — долгое время не оказывали влияния на научную мысль, встречали возражения и их огромное значение оценено было лишь за последнее десятилетие,...— писал Вернадский в 1927 г.,— Кларк не ставил резко и определенно задачу геохимии как задачу изучения истории атомов планеты; это течение геохимии возникло позже и вне его мысли [2]. Но благодаря тому реальному значению, какое возымели числа Кларка в новых учениях об атомах, тому влиянию, какое они оказывали на физическую и химическую мысль XX столетия, его работа целиком вошла в представления, слагавшиеся вне его кругозора» (Вернадский, 1954, т. I, стр. 28).

В 1908 г. в США было опубликовано 1-е издание монографии Кларка «The data of geochemistry», в которой он собрал химические анализы различных природных тел земной коры (горных пород, вод и т. д.). Эта книга, последнее издание которой было опубликовано в 1924 г., сыграла большую роль в развитии геохимии как сводка фактического материала. Вместе с тем обнаружились и слабые стороны методологии Кларка, который в понятие геохимии включал вообще все сведения о химическом составе земной коры (а не историю атомов Земли). При такой трактовке геохимия лишается определенного предмета исследования и перекрывается минералогией, петрографией и другими геологическими науками. Дальнейшее развитие геохимии пошло по пути, намеченному Вернадским и Ферсманом, а не Кларком.

Необходимой предпосылкой оформления геохимии в качестве самостоятельной науки явились современные представления о строении атома как вполне реальной физической системе (понятия об атомном ядре, электроне, вычисление их размеров, «планетарная модель атома» Э. Резерфорда и др.). Вот почему геохимия возникла только в начале XX столетия: после открытия радиоактивности, сложной структуры атома, работ Менделеева. Дальнейшее развитие геохимии тесно связано с прогрессом физики и химии, идеи и методы которых широко используются для изучения поведения атомов в земной коре.

Другая основа геохимии — это различные отрасли геологических наук, в первую очередь наук, изучающих вещество земной коры — минералогии, петрографии, литологии и т. д. На первых этапах особенно большое значение имела связь с минералогией; геохимия выросла из минералогических исследований.

Кафедра минералогии Московского университета (которой В. И. Вернадский руководил в период с 1890 по 1911 г.) — колыбель геохимии. Ученик В. В. Докучаева и Д. И. Менделеева В. И. Вернадский [3], в отличие от своих предшественников по кафедре, главное внимание уделял образованию минералов в природе. Это, естественно, направило его внимание не только на сами минералы, но и на природные воды, из которых они осаждаются, на газы земной коры, на живые организмы, явления радиоактивности, рассеяние элементов и другие вопросы, далеко выходящие за границы традиционных объектов минералогии. Подобные исследования, обогащенные современ-

---

[1] У Кларка были предшественники. В начале XIX столетия, в 1815 г., английский минералог Филлипс пытался установить среднее содержание в литосфере 10 главнейших элементов. Позднее этого вопроса касались Эли де Бомон, Добре и другие ученые.

[2] В работах В. И. Вернадского.— *А. П.*

[3] В. И. Вернадский учился в Петербургском университете в 1881—1885 гг. и слушал лекции В. В. Докучаева, Д. И. Менделеева, Н. А. Меншуткина и др. Особенно велико было влияние В. В. Докучаева, с которым он не терял связь и после окончания университета.

ной атомистикой, и привели к созданию геохимии. Первые геохимические труды В. И. Вернадского были опубликованы в 1908—1910 гг. и были посвящены распространению скандия, рубидия, цезия, лития в горных породах и минералах, парагенезису химических элементов в земной коре, радиоактивности.

А. Е. Ферсман, ближайший ученик Вернадского, также по праву считается одним из основоположников новой науки. В 1912 г. в народном университете им. Шанявского в Москве А. Е. Ферсман впервые прочитал слушателям курс геохимии.

Геохимия возникла в результате логического развития науки вне прямой связи с практикой. И в дальнейшем связь с практикой в общем была невелика, что в значительной степени объяснялось хозяйственной отсталостью царской России. Вместе с тем и Вернадский, и его ученики понимали огромное значение геохимии для решения практических проблем и всячески подчеркивали необходимость геохимических исследований для обеспечения страны радиоактивным сырьем, фосфоритами и другими ископаемыми.

Второй центр развития геохимии наметился в США, где Кларк продолжал исследования по среднему составу земной коры и систематизации геохимических данных. Большое значение для становления геохимии имели труды двух других американских ученых — Ван-Хайза и Линдгрена, работавших в начале XX в. и изучавших рудные месторождения.

Третий центр развития геохимии возник в Скандинавии, в Тронгейме (Норвегия), где в 1898—1916 гг. И. Фогт поставил вопрос о необходимости определения содержания редких элементов в земной коре. Им были вычислены кларки многих металлов. В эти же годы начал исследования один из основателей геохимии В. М. Гольдшмидт, ученик знаменитого норвежского минералога В. Бреггера. Расцвет творчества Гольдшмидта приходится на более позднее время — 20 и 30-е годы.

Таким образом, начало XX в. (до первой мировой войны) — это период становления геохимии. Фронт геохимических исследований в то время не был широк, в большинстве стран они не проводились. Практическое приложение геохимии также было невелико. Границы и разделы ее обозначались еще недостаточно четко. Самостоятельность данной науки нередко оспаривалась представителями смежных отраслей знания.

Потребность в минеральном сырье в период первой и второй мировых войн явилась мощным стимулом развития геохимии. 1915—1945 гг.— годы быстрого роста геохимических исследований. В 20-е годы зарождаются новые разделы геохимии — биогеохимия и гидрохимия, кристаллохимическое направление, прикладная геохимия. В СССР исключительного расцвета достигло научное творчество В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана, появились школы геохимиков из числа их учеников, возникли геохимические институты. Широкое развитие геохимия приобретает в США, Скандинавии и Германии.

В 1933 г. А. Е. Ферсман отмечает шесть основных научных центров, в которых велись геохимические исследования: Ленинград (Ломоносовский институт и Биогеохимическая лаборатория Академии наук СССР, В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман); Осло (Минералогический институт университета), Геттинген (с 1929 г. был организован специальный геохимический институт), где развивалась геохимическая школа В. М. Гольдшмидта; Фрейберг в Германии (Г. Шнейдерхен и Г. Гевеши); Цюрих в Швейцарии, где работал П. Ниггли; Геологический комитет США в Вашингтоне.

Толчком к резкому усилению практической направленности геохимии в России послужили события первой мировой войны, когда обнаружилась явно недостаточная сырьевая база царской России. Отсутствовали данные

о многих видах стратегического минерального сырья. В 1915 г. при Российской Академии наук была создана Комиссия по изучению естественных производительных сил (КЕПС).

После Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране проблема минерального сырья приобрела огромное значение, что создало особо благоприятные условия для развития геохимии.

В эти годы А. Е. Ферсман все силы отдает поискам и изучению месторождений полезных ископаемых на основе методов минералогии и геохимии, организует геохимические экспедиции в Хибины, которые привели к открытию крупного рудного узла Советского Союза (апатиты, нефелин, редкие земли, титан и т. д.). Большое значение имели экспедиции Ферсмана в Среднюю Азию, на Урал и в другие регионы. В ходе этих исследований создавалась школа геохимиков (Д. И. Щербаков, А. А. Сауков, К. А. Власов и др.). Ферсман был основателем (1932 г.) и директором Ломоносовского института Академии наук СССР в Ленинграде [1]. В институте проводились исследования по минералогии и геохимии, преимущественно физико-химического направления. Особенно большое внимание уделял Ферсман пегматитовому процессу. Изучение пегматитов было им начато еще до Октябрьской революции на о. Эльба, продолжено затем на Урале и в других районах. В итоге в 1931 г. им опубликована обширная монография «Пегматиты» — образец минералогических и геохимических работ.

В начале 30-х годов Ферсман, наряду с экспедиционными исследованиями, приступает к крупным теоретическим обобщениям. В 1932 —1939 гг. им опубликованы четыре тома «Геохимии» — первое в мировой литературе систематическое изложение основных положений новой науки.

В 20-х годах большое значение приобрели исследования В. М. Гольдшмидта. В 1926 г. он вычислил радиусы ионов большинства химических элементов и показал, что для вхождения химических элементов в кристаллическую решетку минералов решающее значение часто имеют не их химические свойства, а размеры ионов и атомов. Процесс кристаллизации горных пород из магмы он сравнил с просеиванием вещества на ситах с равным диаметром пор, когда происходит отбор частиц по их размерам. Именно этим он объяснил совместное нахождение магния и никеля в оливине, калия и свинца в ортоклазе и т. д. Найденные закономерности сыграли огромную роль в развитии геохимии, ученые стали оперировать новой константой — размером иона и атома. Оказалось доступным объяснить огромное число фактов ассоциации элементов в минералах, особенно примеси редких элементов. Геохимики получили возможность предсказывать такие ассоциации. Эти исследования знаменовали появление кристаллохимического направления в геохимии. Гольдшмидт сформулировал имеющий важное значение первый закон кристаллохимии и правила изоморфизма. Учение об изоморфизме было поднято на более высокую ступень.

Влияние этих идей было столь велико, что основное развитие геохимии в 30-х годах пошло по кристаллохимическому направлению, а Гольдшмидт, по выражению Ферсмана, стал «властителем дум молодежи XX столетия». Кристаллохимические исследования позволили Гольдшмидту уточнить и сам предмет геохимии как науки. Он особенно подчеркивал зависимость поведения элементов в земной коре от строения их атома.

Начал свои работы Гольдшмидт в университете в Осло, но в 1929 г. переехал в Геттинген в Германию, где ему предоставили хорошо оборудо-

[1] В настоящее время отделы геохимии и минералогии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) АН СССР в Москве.

ванный институт для геохимических исследований. В то время это был крупнейший центр экспериментальных исследований, где широко использовался спектральный анализ. Особенно интересные результаты дало изучение геохимии редких элементов (Be, B, Ge, Ga, Se, As, Pt и др.).

В 1935 г. Гольдшмидт как и многие другие ученые неарийского происхождения, вынужден был покинуть Германию. Многие его ученики также прекратили работу, институт в Геттингене закрыли. Прекрасная научная школа была разгромлена. Геохимия вновь стала нормально развиваться в ГДР и ФРГ лишь после окончания второй мировой войны.

В СССР кристаллохимическое направление получило широкое развитие в 30-е годы. Большое значение имели работы А. Е. Ферсмана о закономерностях изоморфизма (полярный изоморфизм и др.), роли радиусов ионов в почвоведении, порядке кристаллизации минералов из магмы. Физико-химик А. Ф. Капустинский сформулировал второй закон кристаллохимии и вывел приближенную формулу для определения энергии кристаллической решетки простейших бинарных соединений.

Развивая кристаллохимическое направление, А. Е. Ферсман в 30-х годах разработал геоэнергетическую теорию, составляющую содержание III тома его «Геохимии» (1937 г.). Он предположил, что последовательность кристаллизации минералов в природе связана с энергией их кристаллической решетки, которая, в свою очередь, зависит от радиусов ионов, валентности, поляризационных свойств и других физико-химических характеристик атома. Ферсман ввел понятие об эках (энергетических константах ионов), установил их для большинства ионов, вывел простые формулы определения энергии решетки минералов. Энергетический анализ Ферсман распространил на различные геохимические процессы от кристаллизации ультраосновных пород до явлений жизни и геохимической деятельности человечества. Им были заложены основы теории «парагена» (парагенезиса элементов и минералов). К сожалению, геоэнергетическая теория не была им завершена, многие природные явления не увязывались с положениями данной теории (например выветривание, на что обратил внимание Б. Б. Полынов). В дальнейшем выяснилось, что эки являются лишь важными, но отнюдь не единственными и не определяющими геохимическими константами атомов.

В трудах А. Е. Ферсмана наметилось и еще одно направление— *региональная геохимия* («топогеохимия»). Первая работа в этом направлении, опубликованная им в 1922 г., была посвящена геохимии Европейской России. В 1931 г. ученый дал общий очерк геохимических проблем всей территории СССР, а в 1941 г. вышла в свет монография по геохимии Кольского полуострова. В этих работах установлены основные территориальные геохимические единицы («геохимические щиты», «пояса», «поля», «узлы» и т. д.), рассмотрены факторы, определяющие их размещение на земной поверхности (климат, геологическая история, рельеф), дана краткая геохимическая характеристика различных районов СССР, поставлена проблема геохимического картирования.

Проблемы региональной геохимии в те годы, как и много позднее, за рубежом не развивались. Много внимания привлекает в 20-е и 30-е годы геохимия гипергенных процессов и, в частности, *геохимия осадочных пород и осадочного рудообразования*. Начало этих работ в СССР связано с трудами ученика В. И. Вернадского — Я. В. Самойлова, исследования которого были посвящены главным образом фосфоритам и осадочным медным рудам. Его ученики Л. В. Пустовалов, А. В. Казаков и другие продолжили геохимические исследования осадочного рудообразования.

Л. В. Пустовалов ввел понятие о «геохимических фациях» осадкообразо-

вания, в основу выделения которых положены окислительно-восстановительные и другие условия, наблюдающиеся в осадках. В результате им были выделены сероводородная, сидеритовая, глауконитовая, латеритная и прочие геохимические фации. Это направление в последующие годы получило развитие в трудах Г. И. Теодоровича (СССР), В. Крумбейна и Р. М. Гаррелса (США), а также и других ученых.

А. В. Казаков разработал новую теорию фосфоритообразования, в которой в отличие от господствовавших биогенных взглядов на генезис осадочных фосфоритных руд основное внимание уделено физико-химическим процессам осаждения фосфора из морской воды.

В эти же годы ярко проявился геохимический подход к изучению процессов выветривания. Ведущим здесь оказалось учение о круговороте веществ, основные положения которого были сформулированы еще в XIX веке. Интересные геохимические обобщения были сделаны в 1912 г. немецким ученым Г. Линком (циклоидальность круговоротов), в 1916 г.— русским почвоведом П. С. Коссовичем (круговорот серы и хлора на земном шаре) и др.

В. И. Вернадский в 1926 г. показал, что «цикличность» миграции характерна для большинства химических элементов периодической системы. Геохимический подход к выветриванию был характерен также для трудов немецких ученых Г. Гаррасовитца, Бланка и других (исследование латеритов, миграции кремния, алюминия, железа и т. д.). Наиболее полное завершение эти взгляды получили в учении Б. Б. Полынова о коре выветривания.

В начале XX в. геохимики уделяли внимание и древним процессам выветривания — происхождению каолинов, бокситов и других полезных ископаемых. В СССР зародилась научная школа, изучавшая «древнюю кору выветривания». Ее основоположником был И. И. Гинзбург. Детальные исследования проводились на древней никеленосной коре выветривания Урала.

Таким образом, геохимический подход к выветриванию был характерен для ученых ряда стран. В СССР эти исследования оформились в самостоятельные направления — учение о современной (Б. Б. Полынов) и древней (И. И. Гинзбург) коре выветривания.

В 20-е и 30-е годы продолжалось успешное изучение среднего состава земной коры, начатое Кларком. Отдавая должное его заслугам, А. Е. Ферсман предложил обозначать термином «кларк» среднее содержание химического элемента в земной коре или какой-либо ее части (литосфере, гидросфере, атмосфере и т. д.). Говорят также о кларках живого вещества, метеоритов, Солнца, Земли в целом и т. д. «Проблема кларков» стала одним из ведущих разделов геохимии, исследованиями которого занимались все крупнейшие геохимики мира, в том числе и основатели науки В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, В. М. Гольдшмидт.

Особое внимание в это время было обращено на кларки редких элементов, в определении которых были достигнуты крупные успехи. В ходе исследований Ида и Вальтер Ноддаки в Германии в 1925 г. открыли рений, Г. Гевеши в 1923 г.— гафний. Ценные исследования по кларкам были выполнены Ф. Панетом в Германии и Англии.

Значительно меньше «повезло» другому направлению геохимии, возникшему в 20-х годах,— *биогеохимии*. События первой мировой войны направили мысль Вернадского на изучение геологической роли организмов. Его интересовал не каждый индивид в отдельности, а вся их совокупность, которую он назвал живым веществом. Ученый пришел к выводу, что на земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным результатам, чем живые организмы, взятые в целом.

Вернадский показал, что через живое вещество проходят все атомы земной коры, земная атмосфера есть «продукт жизни», и именно живое вещество пронизывает значительную часть земной коры, определяя ее геохимию. «Область жизни» мощностью в тысячи метров была им названа биосферой [1]. Вернадский считал, что гранитная оболочка земной коры это «былые биосферы». Данные представления ученого и составили содержание биогеохимии. Ее основные положения сформулированы Вернадским в статьях и двух книгах — «Очерки геохимии» (четыре издания с 1924 по 1934 г.) и «Биосфера» (1926 г.).

В 1923 г. для выполнения биогеохимических исследований в Академии наук СССР была создана небольшая лаборатория в Ленинграде, которая в дальнейшем выросла в институт. Здесь изучались химический состав отдельных организмов, содержание редких элементов в почвах и водах. Издавались «Труды Биогеохимической лаборатории» (I—XII выпуски, 1934—1968). Так, в исследованиях А. П. Виноградова о химическом составе морских организмов сведен огромный фактический материал и сделаны важные теоретические обобщения (1935—1944 гг.).

В эти же годы А. П. Виноградов разработал учение о биогеохимических провинциях — территориях с определенной реакцией флоры и фауны на повышенное или пониженное содержание химических элементов в окружающей среде. Были изучены биогеохимические провинции, дефицитные в отношении йода, меди и т. д. Эти исследования явились теоретической предпосылкой для разработки биогеохимических методов поисков полезных ископаемых. Они имели также большое общетеоретическое значение, так как поставили вопрос о роли геохимических факторов в эволюции и видообразовании, о необходимости создания новой биологической науки — химической экологии.

Под влиянием трудов Вернадского биогеохимические исследования стали проводиться во Франции (работы Бертрана и др.), а позднее — в США и других странах.

Все же в силу ряда условий биогеохимия тогда еще не получила широкого развития, биогеохимические идеи не овладели в должной степени умами геохимиков. Полное признание биогеохимия получила уже в послевоенные годы.

В начале 30-х годов в СССР стали оформляться еще два направления геохимии. Гидрохимия изучала миграцию атомов в природных водах, а гидрогеохимия — геохимическую деятельность подземных вод. Зарождение этих направлений также в значительной степени обязано В. И. Вернадскому, особенно его труду «История природных вод» (т. I—III, 1933—1936).

Исследования по химии природных вод проводились и ранее в России, США, Германии, Японии и других странах, однако они не имели выраженной геохимической направленности и тем более не составляли самостоятельных разделов геохимии [2].

В СССР наиболее интересные результаты в области гидрогеохимии и гидрохимии были получены О. А. Алекиным, В. А. Сулиным, А. М. Овчинниковым, А. Н. Бунеевым и другими. В 1921 г. в СССР начал работу Гидро-

---

[1] В геологию термин «биосфера» ввел Э. Зюсс в конце XIX в., а глубокое содержание в него впервые вложил В. И. Вернадский.

[2] Геохимический акцент, напротив, был характерен для многих трудов по природным водам. Как мы видим, эти тенденции восходят еще к XVII—XVIII столетиям (см. выше о трудах Бойля, Лавуазье, Ломоносова, Берцелиуса и др.).

химический институт [1], в котором издавался журнал «Гидрохимические материалы».

Химическое исследование соляных озер и соляных равновесий было начато Вант-Гоффом с сотрудниками в конце XIX столетия. В СССР аналогичные работы проводила научная школа Н. С. Курнакова. Вначале работы носили чисто химический характер, позднее они приобрели и геохимическую направленность. Ферсман предложил объединить всю эту группу явлений в понятие «галогенез» (1922 г.).

Теоретические исследования создали предпосылки для важного практического применения геохимии — геохимических методов поисков полезных ископаемых, основы которых были заложены в 30-е годы в СССР в трудах Н. И. Сафронова, А. П. Соловова, Е. А. Сергеева и других. Эти исследователи доказали, что вокруг каждого рудного месторождения имеется поле повышенного содержания рудных и сопутствующих элементов в горных породах, почвах, растениях, водах. Эти так называемые ореолы рассеяния месторождений могут быть эффективно использованы при поисках. Наибольшее внимание уделялось опробованию твердых продуктов — почв, делювия, аллювия и т. д. Теория «металлометрической съемки» была внедрена в практику поискового дела. В 1941 г. Ферсман опубликовал первую в мировой литературе сводку — «Минералогические и геохимические методы поисков полезных ископаемых». Примерно в эти же годы В. А. Соколов разработал прямые геохимические методы поисков нефти и газа на основе определения тяжелых углеводородов в почвенном воздухе. Несколько позднее начались работы по прикладной геохимии в Скандинавии, а в 40-х годах — в США, Японии и Канаде.

В работах А. Е. Ферсмана и его школы ярко выразилось также практическое приложение геохимии к химической технологии.

Большинство полезных ископаемых—полиэлементны, в то время как промышленность извлекает только главные элементы. Нередко примеси редких элементов в рудах представляют огромную практическую ценность, не уступая главному сырью. Геохимик обращал внимание технолога на комплексность руд, на необходимость извлечения элементов-спутников. Наконец, зная законы парагенезиса элементов, геохимик мог подсказать технологу определенные виды сырья для получения того или иного элемента (германий в углях, гафний в циркониевых минералах, рений в молибденитах, индий в полиметаллических рудах и т. д.). Изучение процессов разделения элементов в природе также могло натолкнуть технолога на пути переработки минерального сырья.

Следует упомянуть еще одно направление геохимической мысли, которое оформилось в 20-е и 30-е годы. Мы имеем в виду изучение геохимической деятельности человечества, которую А. Е. Ферсман в 1922 г. назвал техногенезом. Влияние сжигания угля и нефти на увеличение количества CO_2 в атмосфере, распашки почв — на сток и т. д. обсуждалось и ранее, однако только в трудах Вернадского (1926) и Ферсмана (1934—1937 гг.) впервые с геохимических позиций была рассмотрена деятельность человека в целом. Ученые анализировали такие явления, как концентрация и рассеяние элементов в человеческом обществе (например, концентрация золота в банках, рассеяние свинца, цинка, меди и других металлов), сжигание горючих ископаемых, получение металлов в чистом виде (алюминия, железа и другие), грандиозное распыление и перемещение вещества в ходе инженерных и сельскохозяйственных работ. Было отмечено, что деятельность людей

[1] Институт основал и руководил им многие годы профессор П. А. Кашинский. В первые годы главное внимание уделялось методам анализа природных вод и грязей, в дальнейшем в тематике института большое значение приобрели геохимические исследования.

часто идет вразрез с направлением природных процессов, приводит к уменьшению энтропии и т. д. Оба ученых пришли к выводу, что человек геохимически переделывает мир. Такую измененную биосферу В. И. Вернадский предложил именовать «ноосферой». К сожалению, несмотря на огромное практическое значение исследования техногенеза и ноосферы, этот раздел геохимии и в наши дни наименее разработан.

В годы второй мировой войны, и особенно в послевоенные годы, выявилась повышенная потребность всех стран в минеральном сырье, в том числе в таких его видах, которые ранее не привлекали большого внимания. Новая техника требовала не только расширения добычи традиционных ископаемых — железа, угля, нефти, цветных металлов и т. д., но и урана, лития, циркония, бора, германия и многих других редких и рассеянных элементов.

Многие так называемые легкооткрываемые месторождения были к этому времени отработаны, выявилась необходимость поисков трудноокрываемых месторождений, т. е. руд, не выходящих на поверхность, перекрытых аллохтонными отложениями и т. д. Для решения этих проблем особенно большое значение имели геохимические методы поисков. Другой фактор, сильно способствовавший развитию геохимии, связан с изучением атомного сырья и вообще сырья редких элементов. Усилия геологов многих стран были обращены в эти годы на поиски и изучение урановых месторождений.

Новый этап развития геохимии связан с послевоенной эпохой. В эти годы происходит дальнейшее развитие геохимической теории и дифференциация науки, возникают новые методы и научные направления, геохимия широко внедряется в практику, прикладная геохимия оформляется в самостоятельную отрасль. Резко усиливается связь геохимии с другими геологическими науками, геохимические идеи и методы все более проникают в петрографию, литологию, стратиграфию и другие отрасли геологии.

В послевоенный период значительно расширяется фронт геохимических работ. Теперь насчитывается уже не шесть основных центров, как в 1933 г., а множество центров в разных странах.

В СССР геохимические исследования проводятся в Академии наук СССР и академиях союзных республик, в институтах Министерства геологии, университетах. Сейчас широко известны Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ), Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ), Всесоюзный институт минерального сырья (ВИМС), Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ), Всесоюзный геологический институт (ВСЕГЕИ), Радиевый институт и т. д.

Наряду со старыми центрами геохимических исследований (в Москве, Ленинграде, Киеве и т. д.) возникли новые геохимические институты и лаборатории в Белоруссии (Минск), Сибири (Иркутск) и других местах. В настоящее время геологическая служба СССР имеет много производственных геохимических партий.

Характерная особенность развития геохимии в капиталистических странах в послевоенный период состоит в отсутствии преемственности по отношению к старым геохимическим школам (В. М. Гольдшмидта и П. Ниггли), фактически прекративших свое существование.

Большие геохимические исследования проводятся в США (институты Карнеги и Скриппса, учреждения геологической службы, Гарвардский, Чикагский, Калифорнийский и другие университеты, технологические институты). В Англии, Канаде, Скандинавии, Швейцарии, Японии и других странах эти исследования проводятся главным образом в университетах.

Значительное развитие геохимия получила в социалистических странах — Венгрии, Чехословакии, ГДР, Болгарии и др. Большой интерес проявля-

ют к геохимии страны, недавно освободившиеся от колониальной и полуколониальной зависимости. Отметим геохимические исследования в ОРЕ, Индии. Геохимики СССР и других социалистических стран оказывают помощь этим странам в организации геохимических работ. Например, в августе 1965 г. в Москве ООН и правительство СССР организовали для стран Азии, Африки, Латинской Америки и некоторых стран Европы семинар по геохимическим методам поисков.

В эти годы публикуются монографии и учебные пособия, освещающие геохимию в целом. Таковы учебные пособия А. А. Саукова (1950, 1951, 1966) в СССР и Б. Мезона (1952 г.) в Англии, монографии В. М. Гольдшмидта (Goldschmidt, 1954) в Англии, К. Ранкама и Г. Сахама в США (Rancame and Sahama, 1955), Мияки в Японии (1954, 1965 гг.) и др. Стали выходить периодические издания, специально посвященные геохимии — международный журнал «Geochimica et Cosmochimica acta», издающийся в Лондоне на английском языке (с 1950 г.), и журнал «Геохимия», издающийся в Москве Академией наук СССР на русском языке (с 1956 г.).

Первый международный симпозиум по геохимии состоялся в Цюрихе в 1953 г. Важное значение геохимическая тематика приобрела в работах международных геологических конгрессов, а именно: на XVIII сессии в 1948 г. (Англия), XIX — в 1952 г. (Алжир), XX — в 1956 г. (Мексика), XXI — в 1960 г. (Дания) и XXII — в 1964 г. (Индия). В 1957 г. в Москве проходил международный симпозиум по геохимии редких элементов, в связи с обсуждением вопросов петрогенезиса. В 1959 г. международный геохимический симпозиум был проведен в Венгрии. В 1963 г. в Москве конференцией с участием многих иностранных геохимиков было отмечено 100-летие со дня рождения В. И. Вернадского. В США, Японии, Франции существуют национальные комитеты геохимиков. В рамках Международного объединения чистой и прикладной химии создана Международная геохимическая комиссия.

Начала работать также Международная ассоциация геохимии и космической химии (МАГКХ), которой в мае 1967 г. проведено совещание с участием представителей 24 стран (совещание было организовано ЮНЕСКО и Международным союзом научной геологии).

Теоретические разделы геохимии в послевоенные годы развивались очень быстро, наряду с традиционными направлениями возникли новые разделы науки.

Более чувствительные методы анализа пород и минералов позволили уточнить кларки земной коры. В СССР эта работа проводится А. П. Виноградовым, который систематически публикует новые числа кларков для земной коры и средний химический состав ее отдельных частей — типов горных пород, живого вещества, гидросферы. Интересная сводка была им выпущена из печати в 1962 г., в которой содержатся также данные о среднем элементарном составе каменных метеоритов. В США аналогичная сводка опубликована Грином в 1959 г.

Происхождение Земли всегда интересовало геохимиков. В связи с успехами ядерной физики, изучением метеоритов и другими исследованиями в этой области достигнуты большие успехи. Много внимания привлекает проблема образования атомных ядер в центральных частях звезд и в других системах, анализ кривой космической распространенности ядер.

Образование Земли трактуется с позиций двух основных гипотез: «горячей» — из раскаленной солнечной материи (В. М. Гольдшмидт и др.) и «холодной» — из метеоритной пыли и т. д. (О. Ю. Шмидт, Г. Юри и др.). Последователи холодной гипотезы признают дальнейшее разогревание Земли в результате радиоактивных процессов. Детальное изучение химиче-

ского состава метеоритов и изотопных соотношений в них имело большое значение для развития теории образования Земли и ее оболочек (Г. Юри и др.). Большинство ученых приходит к выводу, что центральное ядро Земли аналогично по составу железным метеоритам, т. е. состоит из железа и никеля.

А. П. Виноградов считает, что по составу мантия близка к каменным метеоритам и что земная кора образовалась из мантии в результате так называемой зонной плавки. Свои представления он подтвердил экспериментально, получив при зонной плавке каменных метеоритов базальтическую магму и дунит.

Много внимания привлекают в последние годы взаимоотношения различных оболочек Земли, «большой круговорот веществ» между земной поверхностью и глубинными зонами земной коры. В той или иной форме вопросы эти рассматривались в геологии очень давно. Современная геохимия вносит в развитие их много нового. В этой связи следует отметить «гипотезу геохимических аккумуляторов», разработанную в СССР В. И. Лебедевым и Н. В. Беловым (1952 г.). Согласно этой гипотезе кристаллическое вещество земной коры при построении своей решетки аккумулирует солнечную энергию, которая освобождается в глубинных зонах, обусловливая, по крайней мере частично, эндогенные процессы. По существу, это прямое развитие идей В. И. Вернадского о гранитной оболочке как «былых биосферах». Значительно расширились и углубились исследования в области физико-химических процессов породообразования, минералообразования и миграции атомов. Новые данные были получены по кристаллохимии и изоморфизму, а также геохимии магматических, гидротермальных и гипергенных процессов (работы Д. С. Коржинского, А. Г. Бетехтина, В. А. Николаева, И. А. Островского, Н. В. Белова, К. И. Лукашева, Н. И. Хитарова, Л. Н. Овчинникова, В. В. Щербины и других в СССР; Л. Х. Аренса, Т. Барта, Ж. Ферхугена, Г. Кеннеди, Л. Вагера, С. Нокколдса, Ф. Викмана, О. Корренса и других за рубежом).

Экспериментальные исследования в настоящее время ведутся с использованием высоких температур (порядка 1500°) и давлений (до 500 000 *бар*). Эти работы привели к открытию новой модификации кремнезема — коэсита, синтезу алмаза и другим важным результатам.

Большое значение для развития геохимии имеет глубинное бурение, проводящееся в США и СССР. Полностью подтвердился прогноз А. Е. Ферсмана о значении энергетического подхода в геохимии. Приложение химической термодинамики к изучению миграции дало выдающиеся результаты. Особенно следует отметить исследования Д. С. Коржинского и его школы в СССР по геохимии и термодинамике метасоматических процессов и работы Р. Гаррелса, К. Краускопфа, П. Бартона и других в США в области минеральных равновесий в гипергенных и гидротермальных условиях. Получила развитие и биогеохимия. Советскими геохимиками выявлены новые «молибденовые», «борные» и другие биогеохимические провинции (В. В. Ковальский, Д. П. Малюга). В 1950 г. была опубликована монография А. П. Виноградова о геохимии редких элементов в почвах, которая оказала большое влияние на соответствующие исследования в почвоведении.

В США и других странах проводятся исследования по биогеохимии алюминия, углерода, железа, фтора, селена и прочих элементов, биогеохимии океана, палеобиогеохимии, геологической деятельности микроорганизмов и другим проблемам (Г. Гутчинсон, Ц. Цобелл, Э. Бирштехер, Ф. Абельсон и др.).

Важное значение приобрело геохимическое изучение органического вещества, которое оформляется в самостоятельный раздел — «органическую

геохимию»[1] (труды Ф. Абельсона, Дегенса в США; С. М. Манской и Т. В. Дроздовой в СССР и др.). В целом биогеохимия ныне широко внедрилась в геологию, идеи Вернадского и его школы стали получать все большее признание. Это, в первую очередь, относится к общим положениям о роли живых организмов (живого вещества) в миграции элементов, минералообразовании, формировании химического состава вод и т. д. Таким образом, биогеохимия преодолела известную изоляцию и обособленность, которые отмечались в предыдущем периоде, и стала одним из ведущих разделов геохимии. Биогеохимические исследования играют важную роль и при решении практических вопросов нефтяной геологии, поисков рудных месторождений («биогеохимический метод»), вопросов животноводства, растениеводства (эндемические заболевания домашних животных, культурных растений и др.), медицины (эндемические заболевания людей).

Очень энергично развивается геохимия редких элементов, особенно геохимия урана. Многочисленными работами была установлена высокая миграционная способность этого металла, показано, что он энергично мигрирует почти во всех природных обстановках, образуя месторождения разного типа (пегматитовые, гидротермальные, осадочные, инфильтрационные и т. д.). В результате уран оказался элементом, изученным в геохимическом отношении едва ли не лучше всех остальных (во всяком случае лучше других редких элементов). Особенно большие работы по геохимии урана выполнены в СССР и США. В СССР на основе геохимических исследований разработана эпигенетическая теория образования экзогенных урановых месторождений, опубликованы монографии по геохимии урана.

Не столь детально, как уран, изучались другие редкие элементы. Тем не менее эти геохимические исследования с каждым годом приобретают все большее значение. Много внимания уделяется закономерностям распределения редких элементов по отдельным минералам изверженных пород в связи с генезисом последних. В СССР это исследования А. П. Виноградова (редкие элементы в почвах), В. В. Щербины, А. А. Беуса (бериллий), Л. В. Таусона, С. Д. Туровского и других (редкие элементы в гранитоидах), А. А. Саукова с сотрудниками (ртуть), К. А. Власова, Е. И. Семенова и т. д. Из зарубежных исследований следует отметить работы по геохимии хлора и молибдена (И. Курода и А. Сенделл), рубидия и таллия (Л. Г. Аренс), цинка (К. Ведеполь), индия и таллия (Д. Шоу), бора и др. В СССР опубликована сводная трехтомная монография, посвященная геохимии, минералогии и месторождениям редких элементов.

Значительное развитие получили работы по геохимии осадочных пород и осадочного рудообразования. Детально изучаются редкие элементы в осадочных породах, геохимия современного осадкообразования, геохимия диагенеза, физико-химические условия образования минералов — Eh, pH и т. д. (исследования Н. М. Страхова с сотрудниками в СССР, В. Крумбейна и Р. М. Гаррелса в США и многие другие). К этим работам близко примыкают исследования по геохимии процессов выветривания и почв (Р. М. Гаррелс и другие в США, школа И. И. Гинзбурга и Б. Б. Полынова в СССР).

Гидрохимические и гидрогеохимические исследования развивались по путям, намеченным В. И. Вернадским. Особенно большое внимание обращалось на геохимию рек и речного стока. Геохимию речного стока СССР охарактеризовали О. А. Алекин и его сотрудники, геохимию подземных вод —

[1] В значительной степени эти исследования связаны с нуждами нефтяной геологии. На V Всемирном нефтяном конгрессе, который проходил в 1959 г. в США, работал специальный геохимический симпозиум, посвященный геохимии органического вещества, происхождению нефти и геохимическим методам поисков нефти.

А. М. Овчинников, Ф. А. Макаренко, А. И. Германов и другие. Исключительное внимание в последние годы привлекает геохимия Мирового океана. Океанологические экспедиции СССР, США, Японии и других стран изучают химический состав океанической воды, донные осадки, подводный вулканизм. Сделаны крупные открытия: установлена концентрация железа, марганца и ряда редких элементов в форме конкреций на большой площади дна океана, выявлено широкое распространение подводного вулканизма и т. д. Поставлен вопрос о роли наземного и подводного вулканизма в образовании месторождений так называемых геосинклинальных бокситов, фосфора, марганца. А. П. Виноградов опубликовал сводку по геохимии океана (1967 г.).

Еще в 1922 г. А. Е. Ферсман наметил особую группу геохимических явлений — «катагенез» и «гидрогенез», т. е. изменение горных город (преимущественно осадочных) под влиянием подземных вод. Однако в течение длительного времени эти вопросы почти не изучались и только в самые последние годы в СССР были получены новые данные, оформившиеся в виде раздела «геохимия эпигенетических процессов зоны гипергенеза». Было показано, что осадочная оболочка в значительной степени переработана подземными водами, что в водоносных горизонтах возникают особые «геохимические барьеры» [1], на которых осаждаются элементы, образуя месторождения (А. И. Перельман). Наиболее детально эти явления были изучены на урановых месторождениях, но они распространены и на медных, серных и прочих месторождениях.

Эпигенетические изменения осадочных пород оказались весьма разнообразными, они включают такие процессы, как окисление в кислых и щелочных условиях, кислое и карбонатное оглеение (восстановление без H_2S), пиритизация и т. д.

Медленно развивается «региональная геохимия». Содержание данного раздела окончательно не определилось, обобщающих исследований мало. Здесь, несомненно, намечается связь с металлогеническими исследованиями (главным образом в связи с работами Ю. А. Билибина и его школы в СССР). Однако металлогения пока слабо связана с геохимией и не осмыслена с геохимических позиций. Вместе с тем региональная геохимия является одной из актуальных проблем, особенно в связи с колоссальным фактическим материалом по геохимии отдельных районов, который накопился за последние годы в результате геохимических поисков. Обобщение этого материала с теоретических позиций геохимии в сочетании с положениями металлогении — один из реальных путей развития данного раздела науки.

За рубежом региональная геохимия также не получила сколько-нибудь значительного развития. Причина этого лежит в особенностях зарубежной геохимии, в ее преимущественно экспериментальном направлении и слабой связи с общегеологическими дисциплинами. Отметим, что за рубежом, в отличие от СССР, сравнительно мало геохимиков, ведущих экспедиционные исследования.

В последние годы продолжалась дифференциация геохимии на отдельные разделы и отрасли. Особенно большое значение приобрело изучение радиогенных и нерадиогенных изотопов. Эта тематика широко представлена во многих странах. На основе изучения изотопного состава элементов удалось определить абсолютный геологический возраст горных пород, минералов, археологических памятников и т. д. В итоге в СССР и за рубежом была разработана геохронологическая шкала, значительно отличающаяся от старой шкалы Холмса и других ученых (работы А. П. Виноградова,

[1] «Геохимические барьеры» — участки в зоне гипергенеза, где на коротком расстоянии резко уменьшается интенсивность миграции химических элементов.

А. И. Тугаринова, И. Е. Старика, Э. К. Герлинга в СССР; А. Нира, Г. Тилтона, Г. Дейвиса, У. Либби в США; А. Холмса и Л. Каэна по Южной Африке и т. д.).

Определение изотопов кислорода в известковых раковинах (O^{16}/O^{18}) дало возможность восстановить температуру воды древних морей. Большое значение для решения проблем генезиса руд имеет определение изотопов серы в сульфидах. Анализ изотопного состава кислорода позволил разрешить такой фундаментальный вопрос естествознания, как механизм фотосинтеза. Было показано, что при этом разлагается не углекислый газ, как думали ранее, а вода, кислород которой выделяется в атмосферу, а водород входит в состав образующихся органических соединений.

В итоге этих исследований оформилась «геохимия изотопов», которую иногда называют «ядерной геохимией» или «ядерной геологией», включая в два последних термина также все явления, связанные с радиоактивностью. Наибольшее развитие эти исследования получили в США (работы Юри, Олта, Эпштейна, Нира, Либби и других, сводная монография Ранкамы). В СССР исследования проводились главным образом А. П. Виноградовым с сотрудниками.

В конце 40-х годов в СССР возникла геохимия ландшафта. Ее основатель Б. Б. Полынов биогеохимические идеи В. И. Вернадского развил в свете учения В. В. Докучаева о зонах природы. Это позволило по-новому взглянуть на ландшафт, вскрыть механизм связей между его частями, показать, что тундра, тайга, степь, пустыня и другие ландшафты — особые типы миграции атомов. Теория геохимии ландшафта быстро развивается (А. И. Перельман, М. А. Глазовская и др.). Геохимия ландшафта нашла практическое применение при поисках полезных ископаемых. За рубежом исследования по геохимии ландшафта также начинают проводиться.

В 1958 г. А. А. Сауков, анализируя изменение внешних факторов миграции химических элементов в ходе геологической истории, предложил соответствующую группу вопросов объединить в понятие «историческая геохимия» (аналогично исторической геологии). В последний период новейшие методы исследования (изотопный анализ и др.) позволили сделать крупный шаг вперед. Особое внимание ученых привлекает геохимия архея, когда на Земле еще не было жизни, существовали восстановительные условия в атмосфере (Г. Юри в США, А. П. Виноградов в СССР), а также происходила эволюция атмосферы и гидросферы. Изменение геохимии осадкообразования в ходе геологической истории рассмотрено в трудах Н. М. Страхова, А. П. Виноградова, А. Б. Ронова и других ученых.

Расширение фронта геохимических работ, совершенствование методов анализа привели к огромному увеличению объема геохимической информации. Только в результате геохимических поисков полезных ископаемых во всем мире анализируется ежегодно свыше 10 млн. проб почв, пород, вод и других образований (в основном в СССР). Естественно, что подобный поток информации требует широкого использования математических методов для получения достоверных результатов. Особенно большое значение приобрели методы теории вероятностей и математической статистики.

Н. К. Разумовский в 1939 г. показал, что распределение химических элементов в горных породах обычно подчиняется так называемому лонгнормальному закону. В 1948 г. такой же вывод сделал южноафриканский ученый Л. Г. Аренс. Математические методы внедряются в геохимию очень быстро. В 1960—1970 гг. основное внимание привлекали законы распределения элементов в природных средах, математическая теория образования ореолов рассеяния и другие вопросы (работы А. Б. Вистелиуса, Д. А. Родионова, Р. И. Дубова в СССР; Р. Миллера, Д. Кана в США и др.).

С середины 50-х годов в СССР наметился резкий скачок в использовании геохимических методов при поисках рудных месторождений. Они стали внедряться во все виды геологопоисковых работ от самых мелкомасштабных до наиболее детальных. Наибольшее значение приобрела металлометрия. В отдельные годы отбиралось до 10 млн. проб рыхлых отложений. С помощью металлометрии были обнаружены месторождения полиметаллов, золота, олова, молибдена и других ископаемых.

Меньшее распространение в СССР получили гидрохимические методы, основанные на определении содержания элементов в водах, и еще меньшее — биогеохимические. В нефтяной геологии используются прямые геохимические методы поисков нефти и газа (газовый каротаж). Геохимические методы поисков быстро внедряются также в США, Канаде, Франции, Норвегии, Англии, Японии и других странах. На второе место (после СССР) по объему металлометрических работ вышла Африка, где в 1959 г. было отобрано около 1,5 млн. проб (в США и Канаде — 500 000, в остальных странах не более 250 000). В геологических организациях СССР и других стран в эти годы стали создаваться специальные геохимические партии, геохимическим методам поисков посвящены специальные совещания [1], доклады на международных конгрессах.

Исключительное развитие прикладной геохимии, быстрое внедрение этой науки в практику поискового и разведочного дела, естественно, создали благоприятные условия для развития теории геохимии. Последняя получила источник информации такой мощности (сотни миллионов геохимических данных!), который не шел ни в какое сравнение со всем тем, что имелось в прошлом.

Итак, за первое пятидесятилетие геохимия развивалась стремительными темпами, что было предопределено несколькими главными причинами.

Предмет геохимии — атом, а все науки об атомах росли в XX столетии исключительно быстро. Геохимия широко использовала достижения физики и химии, новейшие методы анализа, представления о строении атома, что было одним из мощных импульсов в ее развитии. С другой стороны, геохимию питал огромный материал, накопленный геологическими науками, в частности минералогией, петрографией, наукой о рудных месторождениях. Таким образом, «пограничное» положение геохимии на стыке наук разного профиля особо благоприятствовало ее развитию. В этом проявились общие закономерности эволюции естествознания в XX веке — сближение ранее далеких отраслей знания, широкое использование физики, химии и математики во всех естественных науках, возникновение «пограничных наук» (биохимии, биофизики, геофизики, астрофизики, космохимии и т. д.)

Для истории геохимии наряду с появлением новых обобщающих фундаментальных теорий характерны и «центробежные» тенденции — возникновение отдельных разделов, со временем вырастающих в новые научные направления и науки. 20-е и 30-е годы ознаменовались обособлением биогеохимии и гидрохимии, 40-е и 50-е — ядерной геохимии, геохимии ландшафта, прикладной геохимии и т. д.

Если в первые годы геохимия оказывала сравнительно небольшое влияние на другие геологические науки, то в дальнейшем началось исключительно энергичное внедрение ее в самые различные разделы геологии. Многие «старые» ветви геологической науки получили возможность решать ранее недоступные проблемы, обрели новое практическое приложение. В первую

[1] Первое Всесоюзное совещание по геохимическим методам поисков рудных месторождений состоялось в Москве в 1956 г., второе — в 1963 г. Совещание по геохимическим методам поисков нефти и газа прошло в Москве в 1958 г. Аналогичные совещания были проведены в США.

очередь это относится к минералогии, связь которой с геохимией всегда была очень тесной, а границы далеко не всегда определенными. Геохимические исследования позволили уточнить состав минералов, объяснить происхождение примесей на основе изоморфизма, решить многие вопросы генезиса минералов. Большое значение геохимия имеет и для петрографии (состав изверженных пород, соотношение пар родственных элементов, например Zr/Hf для решения вопросов петрогенезиса и т. д.), литологии, которая в наши дни в значительной степени перестраивается на геохимической основе, гидрогеологии и других геологических наук. Велика роль геохимии в стратиграфии (абсолютный возраст) и четвертичной геологии (датирование по C^{14}) и т. д.

История геохимии в разных странах имела и имеет свои особенности. Характерной чертой зарубежной геохимии всегда было исключительное внимание к физико-химическому эксперименту, внедрению новых методов анализа. Ряд основополагающих исследований в этой области был выполнен в США и других странах после окончания второй мировой войны. Гидрохимические исследования широко распространены в Японии. Напротив, экспедиционные геохимические исследования, региональная геохимия, связь геохимии с другими геологическими науками не получили достаточного развития за рубежом. Причина этого, несомненно, кроется в конкретных условиях возникновения геохимии в разных странах, а также в особенностях организации геологической службы (существование в капиталистических странах частных компаний, ведущих поиски полезных ископаемых и др.).

В СССР г е о х и м и я развивалась в тесном контакте с другими геологическими науками, как о т р а с л ь г е о л о г и и. Геохимические исследования составляют определенный раздел в общем комплексе геологических работ. В СССР всегда уделялось большое значение геохимической теории, общим проблемам методологии науки. С этим мы связываем тот факт, что именно в нашей стране оформились новые научные направления в геохимии — биогеохимия, гидрохимия, гидрогеохимия, геохимия ландшафта, геохимия эпигенетических процессов.

Существование единой геологической службы в СССР определило огромный размах геохимических поисков.

В целом в послевоенные годы во всех странах наметилось усиление практического приложения геохимии. Особенно это относится к последнему десятилетию. На первом месте здесь стоят геохимические методы поисков полезных ископаемых, оформившиеся в самостоятельный раздел прикладной геохимии. Значительна роль геохимии в сельском хозяйстве и медицине. Все это определяет огромный рост геохимической информации, возможность нового подъема геохимии, который, вероятно, произойдет в самые ближайшие годы.

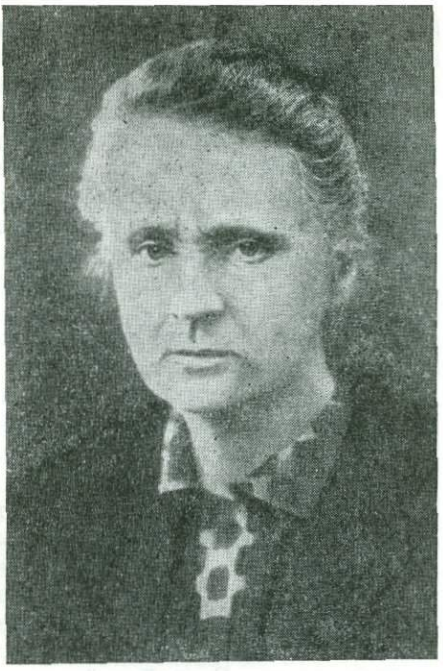
РАДИОГЕОЛОГИЯ

В 1895 г. немецким физиком В. К. Рентгеном были открыты Х-лучи (или рентгеновские лучи). Почти тогда же, в 1896 г., французский физик А. Беккерель открыл особые излучения урана (лучи Беккереля). В 1897 г. английский физик Дж. Томсон открыл электрон, а несколько позже, в 1903 г., разработал статическую модель атома. Еще через год, в 1898 г., французские ученые П. Кюри и М. Складовская-Кюри открыли новые элементы — полоний и радий и их радиоактивность. Вслед за этим радиоактивность была обнаружена у других элементов, главным образом с тяжелыми атомами. В 1911 г. английский ученый Э. Резерфорд открыл атомное ядро и уста-

новил ядерно-оболочечное (ядерноэлектронное, планетарноядерное) строение атома. В самом начале XX в. делаются попытки теоретически объяснить сущность радиоактивных явлений. Возникает острая борьба мнений по этому вопросу. В истории учения о радиоактивности в России особенно интересно столкновение мнений двух выдающихся химиков: Н. Н. Бекетова и Д. И. Менделеева.

Н. Н. Бекетов (1903 г.), как и английские ученые Э. Резерфорд и Ф. Содди (1902 г.), правильно понял сущность явлений, объяснив их самопроизвольным распадом атомов радиоактивных элементов.

Творец периодической системы элементов Д. И. Менделеев, указавший в 1903 г. на огромное научное значение радиоактивных явлений, отнесся отрицательно к гипотезе Резерфорда — Содди — Бекетова, считая радиоактивность процессом истечения частиц мирового эфира, обладающего, якобы, свойством скапливаться около тяжелых атомов.



М. Складовская-Кюри

Однако вскоре было экспериментально доказано, что радиоактивный процесс — это процесс самопроизвольного распада атомов элементов с превращением их в другие элементы путем выброса положительно заряженных осколков ядра атома или выбросов отрицательно заряженных электронов атома и испусканием гамма-лучей (типа рентгеновских). В 1919 г. Э. Резерфорд впервые в науке экспериментально осуществил искусственное превращение элементов (превращение атомных ядер под действием быстро движущихся частиц).

Как только стали известны открытия Рентгена, Беккереля, П. и М. Кюри, во многих странах начались многочисленные исследования различных явлений, связанных с радиоактивностью. Начали изучать свойства урановых и радиевых лучей, возбуждать термолюминесценцию; действие радия на искровой разряд, «разрядный потенциал», на электрически заряженные и флюоресцирующие тела, на теплопроводность газов, на металлы, на органические вещества; влияние радия на «электрическое послесвечение»; тепловое действие лучей радия; явления отклонения лучей радия магнитом. Предметом изучения становятся ионизация и радиоактивность воздуха, минеральных источников, грязей, почв; влияние радиоактивности перечисленных объектов на организм человека и животных. Повышается интерес к химии урановых соединений. Все это приводит к возникновению таких наук, как физическая радиология, радиохимия, радиобальнеология.

Вместе с этим начались энергичные поиски и разведка радиоактивных минералов и руд с целью их использования. В первое десятилетие XX в. их уже добывали в Англии, Германии, Австро-Венгрии, Франции, США. Вскоре радиоактивные руды были обнаружены в Португалии, Швеции, на островах Мадагаскаре и Цейлоне. В России их начали изучать с 1900 г. в Фергане. Уже в первом десятилетии XX в. назревала задача составления

карты радиоактивных минералов (как мировой, так и отдельных стран).

Во многих странах Европы, а также в США в самом начале XX в. стали возникать радиологические лаборатории, институты, экспедиции. В России первая радиологическая лаборатория была создана в 1910 г. в г. Одессе (под руководством Е. С. Буркcера) на средства химического отдела Одесского отделения Русского технического общества. В задачу лаборатории входили исследования радиоактивности минеральных вод, почв и грязей, а также минералов и горных пород. В 1911 г. эта лаборатория начала издавать первый в России журнал по радиоактивности — «Труды химической и радиологической лаборатории».

Инициатором систематических исследований месторождений радиоактивных минералов и руд в России был В. И. Вернадский. Начиная с 1907 г., он систематически выступал в печати по вопросу о необходимости таких исследований, в 1910 г. была опубликована его специальная записка о задачах Академии наук в этой области [1]. В 1911 г. в статье «Задачи дня в области радия» В. И. Вернадский писал: «...в вопросе о радии ни одно государство и общество не может относиться безразлично, как, каким путем, кем и когда будут использованы и изучены находящиеся в его владениях источники лучистой энергии. Ибо владение большими запасами радия дает владельцам его силу и власть, перед которыми может побледнеть то могущество, какое получают владельцы золота, земли, капитала.

Несомненно в мировом стремлении рано ли, поздно ли будут изучены и радиевые руды Российской империи. Они есть на Урале, в Фергане, Сибири, может быть, на Кавказе. Ни количество их, ни запасов мы не знаем.

Для нас совсем не безразлично, кем они будут изучены. Они должны быть исследованы нами, русскими учеными. Во главе работы должны стать наши ученые учреждения государственного или общественного характера.

Теперь, когда человечество вступает в новый век лучистой — атомной энергии, мы, а не другие, должны знать, должны выяснить, что хранит в себе в этом отношении почва нашей родной страны» (Вернадский, 1954, стр. 627—628).

После многих лет настойчивых доказательств и организации коллектива русских ученых В. И. Вернадскому удалось в 1914 г. создать радиевую экспедицию Академии наук с планом работ сначала на три года. Однако экспедиция не смогла полностью выполнить намеченный план из-за начавшейся первой мировой войны. Обзор месторождений радиоактивных минералов России на то время приведен в работе В. И. Вернадского (Вернадский, 1954, стр. 612—619).

Богатые материалы экспедиции (1914—1917 гг.) позволили сразу же после Великой Октябрьской социалистической революции создать в РСФСР сначала пробный Радиевый завод (1918 г.), а затем государственный радиевый институт (1921 г.).

Тем временем на развитии теоретической геологии отразились два чрезвычайно важных открытия, связанные с явлением радиоактивности.

Во-первых, в 1902 г. П. Кюри на заседании Парижского физического общества впервые высказал мысль о возможности использования скорости радиоактивного распада в качестве эталона времени для определения возраста минералов и горных пород. Несколько позже эту же мысль повторил Э. Резерфорд в Англии (1904 г.). Эти высказывания явились первыми, пока теоретическими, подступами к проблеме определения абсолютного возраста

---

[1] «Записка» переиздавалась в 1911 и 1914 гг.

геологических образований и Земли в целом. Позже, с 20-х годов, данная проблема стала решаться уже практически. В 1924 г. при Вашингтонском национальном комитете научных исследований и Вашингтонской академии наук организовалась под руководством американского геолога Ч. Шухерта комиссия по определению возраста Земли. В 1931 г. был опубликован результат семилетних исследований. В 30-х годах уже во многих странах создаются аналогичные комиссии, лаборатории или институты.

Во-вторых, в 1903 г. П. Кюри (совместно с Лабордом) установил с помощью чувствительного калориметра постоянное выделение тепла солями радия. Количество тепла оказалось при этом очень значительным. Опыты показали, что 1 грамм радия в течение часа выделяет 140 малых калорий тепла. При полном распаде 1 грамма радия до свинца (что длится 20 000 лет) выделяется три миллиона больших калорий тепла, т. е. столько же, сколько его получается при сжигании 500 *кг* каменного угля.

Эти два открытия, как и практика поисков радиоактивных минералов и руд, послужили основой зарождения новой науки — радиогеологии. Ее окончательное формирование относится, однако, уже к 30-м годам XX в.

Второе из названных открытий тогда же, в начале XX в., привело к большой ломке представлений об энергетике земной коры. Ряд ученых, в первую очередь английские: геолог Д. Джоли (в 1903 и особенно с 1909 г.) и физик Стретт (с 1906 г.) в результате подсчетов пришли к выводам, что количество тепловой энергии, выделяемой при радиоактивном распаде земных атомов, совершенно достаточно для объяснения всех явлений, которые прежде объяснялись остаточной внутренней теплотой планеты, бывшей, якобы, когда-то в расплавленном состоянии. Д. Джоли высказал мнение, что радиоактивной энергии вполне хватит для таких геологических явлений, как образование в земной коре вязко-жидкой магмы с температурой в 1000° С и выше, как вулканические явления, горячие источники, тектонические и орогенические движения и т. д.

В начале XX в. в научное сознание все глубже проникают идеи о том, что в истории Земли, и особенно земной коры, проявляются три основных источника энергии. Во-первых, э н е р г и я к о с м и ч е с к а я — энергия Солнца и космических лучей, особенно та часть солнечной энергии, которая ассимилируется и трансформируется живым веществом на поверхности планеты. Во-вторых, э н е р г и я п л а н е т н а я, земная, связанная со строением и космической историей планеты,— это энергия ее орбитального движения, энергия вращения, энергия тяготения, энергия остаточного тепла, оставшегося от времени ее расплавленного состояния, если таковое было. В-третьих, в н у т р е н н я я э н е р г и я м а т е р и и Земли, радиогенная энергия.

До XX в. все геологические теории, гипотезы, объяснявшие энергетику земной коры, исходили из учета лишь энергии второго рода, т. е. планетной энергии и лишь той ее части, которая обусловлена остаточным теплом когда-то расплавленной и затем остывающей Земли. Это логически вытекало из общепризнанной тогда космогонической гипотезы Канта — Лапласа, на основе которой, в свою очередь, была разработана контракционная гипотеза Эли де Бомона, бывшая в геологии руководящей по крайней мере три четверти века: от 30-х годов XIX до начала XX в. На протяжении указанного времени принималось, как бесспорная истина, положение о том, что земной шар находился сперва в расплавленно-жидком состоянии. Затем, вследствие застывания расплава снаружи, образовалась твердая земная кора, под которой еще сохранилась высокая температура. Этим объяснялись повышение температуры с глубиной, вулканические явления, возникновение метаморфических пород и горообразование, так как предполагалось, что охлаждение и

сжатие внутренних частей земного шара продолжается. В начале XX в. эти представления об энергетике земной коры стали казаться несостоятельными. Открытие, а затем и количественные определения радиоактивности горных пород земной коры явились предпосылкой пересмотра коренного вопроса геологии — о главных источниках земной энергии, об их соотношении и относительном значении.

Состояние вопроса на 1920 г. осветил в русской литературе геолог А. П. Герасимов (1922) в статье «Роль радия в динамике земной коры».

В течение 20—30-х годов проводятся энергичные поиски, разведка, разработка руд и минералов, содержащих радиоактивные вещества. Эти работы идут во многих странах. Радиоактивные руды становятся все более важным стимулом борьбы за колониальные владения. В частности, в 20-е годы были открыты богатые радиоактивные руды в Бельгийском Конго и США.

Одновременно создаются специальные институты по исследованию различных свойств радиоактивных веществ, протекающих в них процессов и возможности практического использования этих веществ и процессов. Уже в 1911 г. В. И. Вернадский в статье «Радиевые институты» указал на наличие подобного рода институтов во Франции (Париж), Канаде (Монреаль), Англии (Лондон), Австрии (Вена), Чехии (Иоахимов) и ставил вопрос о необходимости создания аналогичного института в России.

В дореволюционной России такого института, однако, создано не было. В Советской России он был организован в тяжелейшее время в жизни страны — в 1921 г.

К началу 30-х годов хорошо оборудованные радиевые институты существовали в Кембридже, Гиссене, Берлине, Праге, Париже. С этого времени начались работы по определению геологического возраста минералов, горных пород, ископаемых организмов на основе изучения продуктов радиоактивного распада. Эта научная проблема была одновременно поставлена в ряде институтов; она тесно сблизила радиологов и геологов. В 1932 г. в СССР при Государственном радиевом институте была организована под председательством В. И. Вернадского комиссия по определению геологического возраста. Несколько раньше в США при Национальной академии наук в Вашингтоне был создан специальный комитет по изучению возраста Земли. Эти два учреждения в некоторой степени координировали свои исследования, сводившиеся в то время главным образом к разработке свинцового и гелиевого методов определения возраста Земли, горных пород, минералов.

Разностороннее изучение радиоактивных явлений в земной коре в 30-х годах привело к постепенному формированию новой отрасли геологии — радиогеологии.

В 1932 г. В. И. Вернадский на заседании Германского Бунзеновского общества в Мюнстере сделал доклад на тему: «Радиоактивность и новые проблемы геологии». В русском издании этого доклада в 1935 г. он писал: «Успехи учения о радиоактивности... приобрели в последнее время большое значение для геологии... возникли новые важные геологические проблемы» (Вернадский, 1954, стр. 644—657).

Он изложил состояние трех основных, по его мнению, первоочередных проблем, требовавших систематической, организованной в международном масштабе, работы: а) геохимии свинца, б) радиоактивного определения геологического времени, в) геологической радиоактивной карты.

По первой проблеме В. И. Вернадский поставил большой ряд вопросов геохимической истории атомов свинца в земной коре в связи с различными геологическими процессами. Он подчеркнул также огромную научную важность второй проблемы. Идею возможности радиоактивного определения геологического времени впервые независимо друг от друга высказали несколько

западноевропейских ученых (П. Кюри, 1902 г.; Э. Резерфорд, 1902—1906 гг.; Б. Болтвуд, 1905—1907 гг.). Но лишь через полтора — два десятка лет в науке практически стала решаться эта проблема; в СССР — с 1932 г. Инициатором постановки этих исследований в начале 30-х годов был В. И. Вернадский. Он же всячески способствовал ускорению работ в этом направлении и в зарубежных странах. «Мне кажется,— говорил он в названном выше докладе в Германии,— что теперь настал момент, чтобы начать организованную систематическую работу по определению геологического времени. Внимание всех геологов и геохимиков должно быть обращено на это новое поле исследований» (Вернадский, 1935, стр. 23—39). Он подчеркивал, что новый метод определения времени имеет большое значение для решения многих коренных вопросов не только геологии и палеонтологии, но и биологии и химии.

В связи с задачей коллективного составления геологической радиоактивной карты мира В. И. Вернадский обратил внимание научной общественности на то, что радиоактивная энергия составляет важную часть теплового баланса (режима) Земли, она определяет ход многих геологических процессов, и тем важнее составление геологической радиоактивной карты мира. Он подчеркнул, что для решения последней задачи необходимо решить много частных, но трудных и сложных вопросов, таких, например, как: определение содержания тория в морской воде, составление георадиоактивных кривых на суше, определение термической структуры сложных геологических разрезов, выяснение связи между георадиоактивными кривыми и магнитными линиями, различными геологическими процессами и т. д. (Вернадский, 1932, стр. 414—426).

К середине 30-х годов в литературе появляется термин «радиогеология», определяются объем понятия, вкладываемого в этот термин, и задачи возникшей науки.

Летом 1937 г. в Москве проходила XVII сессия Международного геологического конгресса. Одним из первых на пленарном заседании был заслушан доклад В. И. Вернадского «О значении радиогеологии для современной геологии», в котором еще раз с предельной убедительностью было обращено внимание научной общественности на две проблемы: радиогенной энергии и термической истории Земли и определения геологического времени по продуктам радиоактивного распада. В. И. Вернадский подчеркнул необходимость придать разработке этих проблем, особенно второй из них, международный характер, создав для этого особую организацию. «...Я предлагаю,— говорил он, заканчивая доклад,— образовать комиссию при Международном геологическом конгрессе, которая занялась бы вопросом об установлении единой методики геологического определения времени и осуществлением, обсуждением указанных проблем и получением отвечающих им точных численных величин. Может быть, комиссия при Национальном исследовательском совете в Вашингтоне сочла бы возможным принять на себя инициативу в этом деле. Было бы желательно, чтобы к следующему конгрессу эти вопросы явились бы одной из главных задач обсуждения и позволили бы научно поставить вопрос об их отражении на мировой геологической карте» (Вернадский, 1954, стр. 694).

Предложение В. И. Вернадского было принято: постоянная комиссия по определению геологического времени методами, основанными на явлениях радиоактивного распада, была создана при Международном геологическом конгрессе. Вскоре она начала работу.

Следующая, XVIII сессия Международного геологического конгресса собралась не через 3—4 года, как обычно, а лишь через 11 лет в 1948 г. Многие так называемые постоянные комиссии конгресса за эти прошедшие годы перестали существовать. Но если некоторые из них начали восстанавливаться сразу, то комиссия по определению геологического времени и другие международные организации и форумы по решению тех или иных вопросов радио-

активности, мирного использования атомной энергии, вопросов радиогеологии возникли значительно позже.

За послевоенные годы большие успехи сделаны в определении абсолютного возраста горных пород, минералов. Разработана новая — геохронологическая шкала в результате применения методов радиологического определения времени (свинцовый, калий-аргоновый, стронциевый, углеродный и многие другие). Возникли новые отрасли знания — ядерная геология, изотопная геология. В СССР при Академии наук в 1952 г. создана специальная Комиссия по определению абсолютного возраста геологических формаций, регулярно собирающаяся на свои сессии. Аналогичные научные учреждения созданы во многих странах.

УЧЕНИЕ О РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

XX в. характеризуется становлением науки о рудных месторождениях, которая опирается на смежные дисциплины геологии — тектонику, петрографию, геофизику, геохимию и физическую химию. Для второй половины XX в. особенно знаменательны внедрение методов точных наук в исследованиях, а также проведение обобщений, в которых наука о рудных месторождениях синтезирует достижения и других отраслей знания. Эти тенденции науки о рудах особенно яркое выражение нашли в металлогеническом направлении, которое ярко выделяется на фоне резко выраженной дифференциации знаний. В начале XX в. развитие науки о рудных месторождениях за рубежом было связано с именами таких крупных ученых, как Делоне (Франция), А. Штельцнер, П. Круш, Ф. Бейшлаг, И. Фогт, Г. Шнейдерхен (Германия), П. Ниггли (Швейцария). Большое влияние на развитие научных направлений приобретают в XX в. ученые США — В. Линдгрен, В. Эммонс, Д. Э. Спёрр, позднее — также Л. Грэйтон, К. Саливан, А. Баддингтон и многие другие. На десятилетия определили представления о рудообразовании классификация гидротермальных месторождений В. Линдгрена, идеи о зональности В. Эммонса и др.

Большие успехи имелись в изучении рудных месторождений и в России. По-прежнему почти все виднейшие геологи важное место в своих исследованиях уделяли проблеме происхождения и закономерностям распределения рудных месторождений. Первую сводку с примерами российских месторождений дал К. И. Богданович (1912—1913). Большое внимание вопросам генезиса минералов и месторождений уделяли геохимики — В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман. Важный вклад в понимание генезиса магматических месторождений внесен трудами Ф. Ю. Левинсон-Лессинга. Во многом оригинальными явились курсы рудных месторождений В. А. Обручева, Н. И. Свитальского, М. А. Усова. Особенно большое развитие работы по рудообразованию получили после Великой Октябрьской социалистической революции, когда началось планомерное изучение обширных территорий нашей страны, и развернулись интенсивные поисково-разведочные работы, потребовавшие для своего направления научных обоснований. Так, неразрывно связаны были с практикой исследования А. Е. Ферсмана, А. Н. Заварицкого, С. С. Смирнова, И. Ф. Григорьева, В. М. Крейтера, М. П. Русакова, Б. Н. Наследова, А. Г. Бетехтина и многих других. Своими научными разработками они активно содействовали развитию минерально-сырьевой базы Советского Союза и в то же время создали большую школу геологов-рудников, которые на практике реализовали их научные прогнозы и обеспечили выявление многочисленных месторождений полезных ископаемых.

К XX в. в науке о рудных месторождениях была окончена оживленная и

яростная дискуссия латераль-секреционистов и сторонников глубинного происхождения рудного вещества. Победили, как известно, последние, хотя положительные данные, полученные сторонниками латераль-секреционной гипотезы, оставили свой след и наложили отпечаток на дальнейшее развитие науки, привлекая внимание исследователей также и к вмещающим породам, в которых развивался рудный процесс.

Одним из ведущих геологов на рубеже двух веков был француз Делоне, лично много занимавшийся изучением рудных месторождений в Африке и оставивший крупные монографии. Ему принадлежит сводка по золоторудным месторождениям мира, в которой дается, вероятно, первая классификация месторождений золота. Интересно, что он выделяет месторождения, связанные с глубинными магматическими породами, с одной стороны, и с экструзивными образованиями, с другой, и говорит о различном характере минерализации на разной глубине, предвосхищая тем самым представления В. Линдгрена.

В качестве самостоятельной группы им выделяются серебро-свинцовые месторождения, содержащие золото. Эти месторождения связаны с эруптивными молодыми породами и образованы в приповерхностных условиях или на малой глубине. Они встречаются в молодых складчатых зонах, в древних же, очевидно, подобные месторождения уже эродированы. Особенно широко развиты они в Тихоокеанском вулканическом поясе (De Launay, 1907) на западе Америки и в Мексике. Здесь мы находим, видимо, первую идею о Тихоокеанском поясе, которая, таким образом, восходит к началу века. К такому же типу относятся месторождения Трансильвании.

Делоне отмечает, что месторождения, образованные на разных глубинах, отличаются минералогически по ассоциациям золота, причем формы нахождения золота также различны. На глубине этой сегрегации, ближе к поверхности — крупные трещины и жилы, в которых золото ассоциирует со свинцово-серебряными рудами или с серебром, в самых поверхностных горизонтах встречаются штокверки (сеть прожилок) с флюоритами и теллуридами, сопровождающимися золотом. Он предполагает, что золото может подниматься из первичных расплавов в верхние горизонты вместе с минерализаторами (хлор, фосфор, сера, сурьма, мышьяк, теллур). Рассматривая закономерности размещения золоторудных месторождений, Делоне отмечает локальные концентрации золота, которые, по его мнению, отражают неоднородность нашей планеты, и рекомендует развивать поиски золота в тех местах, где уже установлены золотоносные пояса и зоны.

Особо останавливается Делоне на вопросе о генезисе золотоносных конгломератов Витватерсранда, которые он изучал лично, работая в Африке. Он указывает, что имеются две теории образования золотоносных конгломератов — гидротермальная и осадочная. Сам он предполагает, что золото поступило в конгломераты за счет разрушения древних золотоносных образований в виде галек; частично имело место новообразование золота при разрушении золотосодержащего пирита. Останавливается Делоне и на вторичном обогащении золоторудных месторождений и образовании зоны цементации с необычайно богатыми золотом гнездами.

Он же указывает на существование крупных рудных поясов, в частности, выделяет золотоносный пояс Северной Америки с третичной минерализацией. Интересны его идеи о влиянии эрозионного среза на характер минерализации. Следует, впрочем, отметить, что металлогеническое районирование он проводил в основном по географическому признаку.

Как было сказано ранее, Делоне (1885—1892 гг.) принадлежат термины «металлогенические эпохи» и «металлогенические провинции», и одна из важнейших его книг называется «Образование рудных месторождений или металлогения».



К. И. Богданович

Позднее Делоне дает уже достаточно детально разработанную классификацию месторождений, выделяя: включения и сегрегации, линзы в кристаллических породах, образованные за счет дифференциации (ликвации). В основных породах таким путем образуются месторождения железа, никеля и хрома. Делоне подчеркивает, что эти собственно магматические месторождения связаны через контактовые месторождения с жилами выполнения трещин и штокверками. Выделяет он также месторождения замещения и метаморфические, а среди осадочных месторождений, как и другие авторы до него химические и механические. Он подчеркивает, что с разными типами пород связаны и разные металлы. Так, если никель и хром образуются в связи с основными породами, то олово — с кислыми, а свинец и цинк — с породами промежуточного состава.

Важную роль в образовании месторождений и выносе металлов из магмы Делоне приписывает минерализаторам и парам воды. Месторождения возникают, по его мнению, на глубине под большим давлением и выводятся на поверхность длительной эрозией. Представление о генезисе руд он связывает с общей концепцией строения и развития Земли, указывая на зональное распределение в ней элементов. Источниками металлов служат центральное ядро и внутренняя оболочка Земли, и, следовательно месторождения как собственно магматические, так и гидротермальные, аналогично магматическим породам, имеют глубинное происхождение. Интересны представления Делоне о закономерностях распределения рудоносных областей и последовательном смещении периодов рудообразования по мере развития складчатости в Европе от древнейшей на севере, затем каледонской и третичной (Альпы).

Делоне выделяет рудные формации по опыту саксонских рудных геологов, указывая на последовательное их образование, Он же дает общие сведения по структурной геологии, правилам установления относительного возраста жил и сбросов, отмечает наличие повторных подвижек вдоль жильных трещин и подчеркивает роль пересечения трещин в образовании обогащенных частей жил.

Большое значение имела капитальная монография американца Ч. Р. Ван-Хайза (Van Hise, 1904), посвященная вопросам метаморфизма. В ней в заключение дается большой раздел о рудных месторождениях. Хотя Ван-Хайза обычно считают латераль-секреционистом, в его классификации месторождений существенное место уделяется эндогенным процессам. Месторождения он делит на осадочные, магматические (сегрегационные и образованные из газов и паров) и метаморфические, отложенные из водных растворов — восходящих, нисходящих или смешанных (с участием восходящих и нисходящих растворов).

Ван-Хайз подчеркивает, что сульфиды тяжелых металлов образуются только из восходящих растворов или в тех месторождениях, где восходящие растворы сочетаются с нисходящими. Последние принимают участие в образовании зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения. По мнению Ван-Хайза, поверхностные воды могут опускаться до 500 или даже 1000 метров, причем они производят перегруппировку материала, первично отложенного на большом вертикальном интервале.

Подчеркивая роль магматических процессов в оруденении, он указывает, что смена типов минерализации от магматических сегрегаций к газовым эманациям, а затем к водным растворам, происходит по мере понижения температуры в направлении к поверхности, причем существуют переходы между различными классами. Развитие же того или иного магматического процесса зависит от той зоны, какую интрудировали изверженные породы. Подобно тому как утверждал Б. Котта, Ван-Хайз считает, что месторождения могут быть сложными и являться результатом проявления различных процессов (эманаций и последующего отложения из водных растворов, сегрегаций и наложенных также образований из восходящих вод). Миграция растворов из глубинных зон к поверхности зависит, по Ван-Хайзу, от характера трещин.

Придавая большое значение воздействию поверхностных вод на перегруппировку первично отложенных рудных компонентов, Ван-Хайз считает, что необходимо определять глубину их распространения вдоль трещин.

К началу XX столетия относится издание крупных руководств по рудным месторождениям в Европе: Ф. Бейшлаг, П. Круш, И. Г. Фогт, А. В. Штельцнер и Бержа — Германия; К. И. Богданович — Россия. В этих трудах окончательно утвердились представления о связи рудных месторождений с магматизмом и с этих позиций даны характеристика главнейших генетических типов руд и описания рудных районов и месторождений.

Параллельно с развитием исследований в Европе с начала XX в. активизируются работы по изучению рудных месторождений в США. Здесь такие замечательные исследователи, как В. Линдгрен, В.Эммонс и многие другие, сыграли очень крупную роль в дальнейшем развитии теории рудных месторождений.

Восстанавливая историю развития науки в начале XX в., Линдгрен считает, что представления, близкие к современным, о генезисе магматогенных месторождений были сформулированы Уилдом еще в 1903 г. в докладе, который нашел поддержку со стороны Линдгрена. Линдгрен же выступил с теорией образования месторождений позднее, в 1905 г., на Международном геологическом конгрессе в Мексике. Первая его классификация месторождений была опубликована в 1906 г. Линдгрен считает себя преемником взглядов Эли де Бомона и говорит, что непосредственные его предшественники и современники — Делоне и Ван-Хайз — далеко отошли от прежних идей Эли де Бомона. В основу классификации Линдгрена положены физико-химические условия — температура и давление, изменение которых, по-мнению, зависит в основном от глубины образования месторождений.

Взгляды Линдгрена вскоре стал разделять и В. Эммонс, сначала выступавший как их противник. В отличие от сторонников гидротермальной теории конца XIX — начала XX в. представители американской школы считали источником рудного вещества уже не глубинные оболочки Земли, а непосредственно магматические породы, вскрывающиеся в районах месторождения, появление же рудоносных растворов связывали с их дифференциацией.

Одновременно с развитием этих представлений накапливался и фактический материал относительно закономерностей распределения рудных месторождений вокруг массивов изверженных пород, и уже в 1908 г. Спёрром была



И. Ф. Григорьев

высказана идея о зональном распределении металлов с последовательной сменой их от более высокотемпературных к низкотемпературным: олово — вольфрам — молибден; золото; медь; пирит — арсенопирит; цинк; свинец; мышьяк.

В дальнейшем теорию зональности развил В. Эммонс (Emmons, 1924, 1936 и др.). На основании обобщения большого материала как по США, так и по другим странам он установил некоторые общие закономерности распределения металлов относительно интрузивных массивов и соответственно выделил несколько ступеней эрозии гранитных тел, или зон (криптобатолитовая акробатолитовая, эпибатолитовая, эмбатолитовая, энджобатолитовая и гипобатолитовая). Отмечая различное расположение металлов относительно интрузива, Эммонс определил и ряд зональности в развитие ранее установленного ряда Спёрра. Так, все металлы, по Эммонсу, располагаются по направлению от интрузива к периферии и вверх от него в следующем порядке: золото, олово, вольфрам, медь, цинк, свинец, серебро, сурьма, ртуть. В этих обобщениях учтена ранее подмеченная многими геологами Европы в таком классическом рудном районе, как Корнуэлл, закономерная смена состава рудных жил с глубиной и с удалением по горизонтали от интрузивов.

Представление о связи оруденения с батолитами, последовательно развиваемое Эммонсом, в дальнейшем подверглось существенной критике, в частности со стороны С. С. Смирнова, который вместо зональности околобатолитовой развил идею о зональности пульсационной, представляющей следствие прерывистого поступления минерализующих растворов от активного их источника. О прерывистом поступлении растворов в периоды активизации трещинообразования ранее говорили американец Хьюлин (Hulin, 1929) и немец Г. Берг (1925 г.).

В дальнейшем, как это часто бывает, наметилось сближение двух противоположных концепций и наряду с существенным значением пульсационной зональности многие авторы принимают и так называемую зональность отложения (Билибин, 1951), связанную с постепенным изменением температуры и давления в растворах, удаляющихся от активного источника рудоносных растворов.

Следует подчеркнуть, что в критике представлений Эммонса, наряду с правильными замечаниями, иногда допускались и неточности в изложении его взглядов. Так, считается, что Эммонс связывает оруденение с единым потоком растворов, выделяемым остывающим батолитом. На самом деле это далеко не так. Подобно другим американским геологам, Эммонс стоит на точке зрения признания важной роли процессов, дифференциации гранитной магмы и сами батолиты считает многофазными, причем отмечает, что с разными фазами могут быть связаны различные месторождения.

Уделяя особое внимание месторождениям, связанным с интрузивами, Эммонс, как, впрочем, и Линдгрен, отнюдь не отрицает значения других процессов в концентрации руд. Так, оба эти исследователя допускают первичноосадочные накопления свинца в карбонатных толщах, меди — в медистых песчаниках типа мансфельдских, т. е. отнюдь не являются приверженцами образования месторождений лишь в связи с магматизмом.

Крайним магматистом среди американских геологов выступает Дж. Спёрр с оригинальной концепцией рудных магм. По Спёрру, подобно тому как это предполагал еще в XIX в. в России Кратт, рудные жилы в большинстве своем аналоги магматических даек и преобразованы из концентрированных гелеподобных масс, которые он называет рудными магмами. К таким представлениям Спёрр пришел, наблюдая характер некоторых золоторудных жил. Затем он изучал непосредственные переходы пегматитов в кварцевые жилы, что и привело его к выводу о сходстве процессов их образования. В этом вопросе его предшественником можно считать Н. К. Высоцкого.

О вязкой консистенции рудообразующей среды, по Спёрру, свидетельствуют взвешенные обломки в теле мощных жил, наличие которых трудно было бы объяснить с позиции признания жидких длительно циркулирующих растворов. Подобно жилам силикатных пород, образованных из расплавленной магмы, рудные жилы возникают за счет вещества глубинных оболочек Земли. И в этом отношении Спёрр снова обращается в поисках источника руды к подкоровой области.

В связи с этим он отмечает большую роль глубинных и протяженных разломов, сообщавшихся с глубокими оболочками Земли и контролирующих распределение рудных месторождений, независимо от складчатых структур. Так, он выделяет Великие Серебряные каналы Северной и Южной Америки, находящиеся на продолжении одного и того же гигантского планетарного разлома, и вместе с тем указывает на существование подобных же рудных поясов на западной окраине Тихого океана. В этих идеях Спёрр, как до него Делоне, предвосхищает будущие представления о Тихоокеанском рудном поясе. Наряду с гигантскими рудоконтролирующими каналами Спёрр устанавливает и частные разломы различных направлений, вдоль которых концентрируются по преимуществу месторождения США.

Книга Спёрра (Spurr, 1923 a), написанная в острых полемических тонах, вызвала, как известно, бурную дискуссию. Особенно активно против представления о рудной магме выступил В. Линдгрен, который указал, что подобное расширение понятия о рудной магме неоправданно, ибо физико-химическая природа ее остается неясной. С позиций признания рудной магмы невозможно объяснить замещение боковых пород рудными минералами.

Более благожелательно отнесся к книге Спёрра И. Фогт, который тоже возражал против широкого применения понятия «магма». Однако он указывал, что некоторые месторождения, например пиритовых руд, образовались из магмы, не говоря уже о собственно магматических месторождениях платины, хрома и других металлов.

Хотя в целом концепция Спёрра была отвергнута, к представлениям о большой вязкости рудоносных растворов многие геологи возвращались и позднее. Так, О. Д. Левицкий (1939) связывал образование кварц-вольфрамитовых жил Забайкалья с внедрением вязкой гелеподобной массы кремнезема.

Возбужденная Спёрром дискуссия всколыхнула общественное мнение, привлекла внимание к некоторым деталям строения рудных жил, не говоря о том, что в книге Спёрра были подняты и некоторые общие вопросы метал-

логенического характера. В частности, Спёрр останавливается на металлогенических эпохах, а также выделяет провинции, которые он в первых работах называл рудоносными, а затем металлографическими.

Спёрр обращал внимание на неравномерность распределения металлов в земной коре: сравнительно ограниченное распространение олова, концентрирующегося в таких провинциях, как Боливия, Малайя, Индонезия, неизменно ассоциирующего с кислыми изверженными породами; более широкое распространение вольфрама; локальные участки, обогащенные медью (провинция Аризона). Наличие таких местных высоких концентраций металлов, по Спёрру, заставляет предполагать неоднородность подкорового слоя, возникшую в предысторическую эпоху жидкого состояния и химической сегрегации Земли.

На вопросе о глубинном источнике рудного вещества особенно сосредоточили внимание такие американские исследователи, как А. Локк, П. Билингслей, Д. Шмидт (Lock, Billingslay, Schmidt, 1934), а также А. Холмс (Holmes, 1937). Они, подобно Спёрру, устанавливали приуроченность месторождений, в частности золото-серебряных в Северной Америке, к крупным разломам, вдоль которых, по их мнению, растворы поднимались с больших глубин. В образовании руд главное участие принимала «тектоническая машина», которая была определяющим фактором в процессе рудообразования.

Следует подчеркнуть, что идея о подкоровом источнике рудоносных растворов, одно время подвергавшаяся крайне резкой критике в печати, в последние годы неоднократно возбуждается вновь в связи с проблемой взаимоотношения рудных жил и даек. Постоянную ассоциацию рудных тел с дайками основного состава отмечал еще Хьюлин (Hulin, 1929), а в последнее время этой же проблеме посвящены работы Ф. К. Шипулина. И совершенно очевидно, что для некоторых типов месторождений, непосредственная связь которых с гранитами не прослеживается, вероятность поступления рудного вещества вместе с растворами из подкоровых глубин отнюдь не исключена.

Хотя представители американской школы признавали возможными различные способы происхождения руд, в том числе допускали концентрацию металлов в морских бассейнах (свинцово-цинковые месторождения типа Миссисипи и Миссури), все же главное значение они придавали гидротермальным месторождениям, и именно эту сторону вопроса развивали в своих работах.

Как реакция против такого несколько одностороннего подхода, возникло противоположное течение, последователи которого рассматривали вопрос о возможности осадочных концентраций различных металлов.

Широкое развитие получила идея заимствования металлов из осадков изверженными породами. Так, А. П. Никольский (1941) предполагал, что закономерная приуроченность оловянных месторождений к терригенным породам не случайна. Он считал, что олово заимствуется из глинистых осадков гранитами, которые позднее выделяют его в составе гидротермальных растворов. К такой же точке зрения склонялись И. Я. Некрасов (1966) и В. Л. Барсуков (1966).

Представление о заимствовании олова гранитами из терригенных пород развивал также П. Н. Кропоткин, который рассматривал вопрос об ассимиляции осадочных толщ в связи с проблемой пространства при возникновении гранитных интрузивов. Сторонником представлений о первично осадочных концентрациях металлов был М. М. Константинов (1951 и др.).

Особенно активным защитником идеи о развитии гранитов за счет изменения вмещающих пород является американец Салливан (Sullivan, 1948, 1956). Салливан на основе изучения месторождений Западной Австралии

пришел к выводу, что гранитные породы и ассоциирующие с ними рудные месторождения образованы в основном за счет осадочных и других пород сиаля при их гранитизации. Он отмечал, что со временем характер рудных месторождений меняется. И если на ранних этапах развития Земли были широко развиты литофильные элементы (в частности, уран и торий), то позднее все большее значение преобретают сидерофильные элементы, которые поступают в земную кору из глубинных оболочек Земли вместе с основными породами. Одновременно резко возрастает роль и халькофильных элементов.



В. Линдгрен

Салливан указывает на определенную приуроченность меди к базальтам, которые всегда ее содержат, что и предопределяет, по его мнению, расположение богатых медных провинций в районах развития основных вулканитов.

Олово, по его мнению, также было привнесено в верхнюю зону земной коры вулканическими породами, как это показывает пример Мексики, Невады, а также тесная ассоциация оловорудных месторождений с вулканитами в Боливии. Салливан предполагает, что богатство Малайи оловом объясняется наличием в нижних частях разреза кислой вулканической серии «Паханг» послепозднепалеозойского возраста.

Вместе с тем Салливан допускает, что металлы, привнесенные вулканической деятельностью, могли концентрироваться в качестве промежуточной стадии в осадках. Именно этим он объясняет повышенную вольфрамоносность Тихоокеанского пояса. Позднее вольфрам, как и олово, мог заимствоваться из осадочных пород при гранитизации.

Доказательство своей гипотезы он видит в распределении золота, приуроченного, главным образом, к зеленокаменным породам, откуда металл мог заимствоваться в процессе гранитизации.

Различное поведение элементов в ходе гранитизации и более поздних процессов, ее сопровождающих, зависит в значительной мере от геохимических особенностей элементов. Элементы, способные по кристаллохимическим свойствам изоморфно замещать породообразующие минералы, концентрируются в породах, давая при благоприятных условиях магматические месторождения (например так он объясняет концентрацию в основных породах никеля, который имеет размер ионного радиуса, близкий к таковому у магния). С другой стороны, элементы, не способные образовать изоморфные примеси, замещающие породообразующие минералы, выделяются в составе эманации и растворов.

Вопросу о круговороте элементов в земной коре была посвящена статья В. Линдгрена (Lindgren, 1923), показывающая, что этого ученого нельзя считать только гидротермалистом, ибо он допускает и иные способы образования руд. Как и В. И. Вернадский (1927), Линдгрен рассматривает геохимические

циклы некоторых элементов — железа, серы, фосфора, указывая на роль поверхностных процессов в изменении первичных концентраций, перегруппировку, перемещение элементов на поверхности и вторичное их накопление в осадках или организмах. Здесь же он отмечает большую роль метаморфических процессов на участках, где содержащие металлы породы погружаются на большие глубины, откуда эти металлы могут извлекаться растворами или в процессе метаморфизма, гранитизации или палингенеза.

Идея о перемещении рудных компонентов в земной коре наиболее яркое выражение нашла в работах немецкого исследователя Г. Шнейдерхена о регенерированных месторождениях (Schneiderhön, 1952, 1953). По его мнению, при развитии синорогенного магматизма происходит мобилизация рудного вещества из пород и ранее образованных месторождений. Те же процессы протекают и в условиях гранитизации.

В свете этих представлений значительная часть месторождений, по Шнейдерхену, является вторичной, возникшей за счет повторного переотложения металлов в земной коре. Подобный процесс может иметь место и в платформенных условиях (телетермальные месторождения медистых песчаников и свинцово-цинковых руд в карбонатных породах). Они же интенсивно происходят и в молодых орогенах, развивающихся на месте более древних складчатых областей. При этом, по мнению Шнейдерхена рудообразующие минералы очищаются от примесей (безжелезистый сфалерит).

Вместе с тем к регенерированным месторождениям он относит некоторые месторождения сложного состава. По его представлениям, для Европы первичны лишь герцинские месторождения. Что же касается молодых месторождений Альпийской и Карпатской зон, то все они являются регенерированными. То же он предполагает и для обширных территорий Азии, включая Тихоокеанский пояс.

Работы Шнейдерхена вызвали оживленную дискуссию, материалы которой в русском переводе были опубликованы под редакцией В. И. Смирнова в 1957 г.

Особый круг вопросов касается классификации рудных месторождений. Начиная с ранних этапов развития науки о рудах, этим классификациям ученые придавали важное значение, поскольку они помогали систематизировать имеющийся материал и отражали соответствующие представления о генезисе различных типов руд.

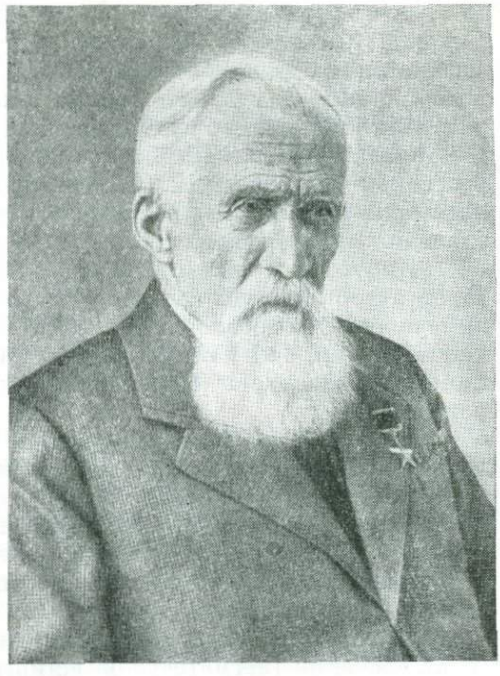
XX в. в основном ознаменовался широким признанием линдгреновской классификации рудных месторождений по зонам глубинности. В последнем варианте этой классификации (1933 г.) учитываются месторождения, возникшие путем механической концентрации и в результате химических процессов при условиях температуры и давления, колеблющихся в весьма широких пределах.

Особый класс составляют месторождения, возникшие в результате привноса веществ, не содержащихся в горных породах. Здесь выделяются месторождения, образование которых не зависит от интрузивной деятельности и связано с циркуляцией атмосферных вод на средних и малых глубинах (температура до 100°) и большая группа месторождений, которые связаны с магматическими породами. Как в первом варианте его классификации, так и в последнем выделяются по температуре три группы месторождений: эпитермальные, мезотермальные и гипотермальные, образованные на малых, средних и больших глубинах при малой, средней и высокой температурах и соответственно низком, умеренно высоком и очень высоком давлении. Следующую группу составляют месторождения, непосредственно отложенные из магматических эманаций, в том числе контактовые метаморфические и пирометасоматические, а также месторождения, возникшие из эффузивных по-

род, и отложения из фумарол. Последний класс составляет образования, возникшие в процессе дифференциации магмы — собственно магматические и пегматитовые.

Слабой стороной классификации Линдгрена, несмотря на ее прогрессивное начало (попытка использовать физико-химические факторы), является то, что температура образования руд далеко не всегда отвечает глубинам. На это обратил внимание А. Баддингтон (Buddington, 1935), который предложил выделять группу ксенотермальных месторождений, возникающих вблизи поверхности, но при высоких температурах.

Л. С. Грейтон предложил выделять дополнительно телетермальные месторождения, удаленные от магматических источников, и лептотермальные — промежуточные между эпитермальными и мезотермальными.



В. А. Обручев

Свой вариант классификации магматогенных рудных месторождений дает уже в начале 20-х годов швейцарский ученый П. Ниггли, который с позиций физической химии рассматривает ход магматической эволюции в схеме образования пегматитов, пневматолитов и гидротермальных растворов. Диаграмма Ниггли в дальнейшем была использована А. Е. Ферсманом для объяснения физико-химической дифференциации. Правда, позднее с резкой критикой ее выступил В. А. Николаев (1953 г.).

В классификации Ниггли мы видим дальнейшие шаги и к геологическому обоснованию особенностей генезиса месторождений, что нашло, в частности, выражение в выделении (как ранее и у Делоне) двух групп месторождений — связанных с плутоническими и вулканическими породами. Замечено, что первые — особенно высокотемпературные и глубинные; их типы характерны для областей древней металлогении, а вторые — для областей мезозойской складчатости. Еще дальше идет в подразделении месторождений по глубине залегания активных магматических пород М. А. Усов (1931), который разделяет их на группы, связанные с абиссальными, гипабиссальными и эффузивными фациями. В отличие от Ниггли Усов оспаривает целесообразность выделения пневматолитовых месторождений и отмечает неразрывную связь и скрещивание пневматолитовой и гидротермальной фаз.

Он же выступил и против выделения групп месторождений по температурному признаку, указывая на наложение минералов различных фаз эманаций.

Классификацию Линдгрена с некоторыми упрощениями заимствовал В. А. Обручев в курсе рудных месторождений, взяв в качестве примеров месторождения СССР. Однако Обручев, следуя Ниггли и Ферсману, выделяет все же в качестве особой группы пневматолитовые месторождения, чем его классификация существенно отличается от линдгреновской.

Рассматривая вопрос о классификации рудных месторождений, С. С. Смирнов указал, что желательно предусматривать в ней, с одной стороны, физико-химические условия рудообразования (разделение, в частности, гидротермальных месторождений по температуре на три группы), с другой — учитывать положение рудоносного источника растворов.

Большое место занимают в науке вопросы природы рудообразующих растворов — их химизма (Graton, 1940) и состояния. В частности, обсуждалась роль коллоидов в рудообразовании (Левицкий, 1953; Радкевич, 1959), значение метаморфизма руд и т. д.

По другому принципу построена классификация Г. Шнейдерхена, в которой автор пытается совместить генетический принцип (по физико-химическим условиям образования) и экономический (по металлам), особо выделяя как и Ниггли, субвулканическую серию. В последнем варианте классификация Г. Шнейдерхена (1944 г.) представлена в виде следующих групп месторождений:

I. Первая магматическая главная группа: интрузивные породы и жидкомагматические месторождения (хромиты, алмазы, платина, титано-магнетиты, связанные с ультраосновными и основными интрузивными породами).

1. Промежуточная группа жидкомагматических и пневматолитовых переходных месторождений (автогидратизированные месторождения хромита, платины, сульфидных медно-колчеданных руд, магнетито-апатитовых руд и апатито-нефелиновых руд.

II. Вторая магматическая главная группа: пегматитово-пневматолитовые месторождения (пегматиты и шлиры, олово — вольфрам — молибденовые формации, турмалинсодержащие золото — серебро — свинцовые, висмутовая и другие формации).

2. Промежуточная группа (пневматолито-гидротермальные переходные месторождения).

III. Третья магматическая главная группа — гидротермальные месторождения (формации: золотые, золото-серебряные и медноколчеданные, свинцово-серебро-цинковые, никель-висмут-урановые, олово-серебряные и вольфрам-висмутовые, сурьмяно-ртутно-мышьяково-селеновые, окисные железо-марганцово-магниевые, полевошпат-барито-витеритовые и кварцевые).

В отличие от предшественников Шнейдерхен вводит в классификацию понятие «рудная формация». В СССР подразделение месторождений по формациям предложил Е. Е. Захаров (1953), выделивший большое количество формационных групп и типов. Более общее представление о формациях руд давал А. Г. Бетехтин (1939), который выделял семейства руд, характеризующиеся особыми геологическими, минералогическими и генетическими признаками. Еще более крупные подразделения выделял М. А. Усов (1931), положивший в основу своей классификации состав металлов, т. е. в значительной мере экономический признак. Так, он выделял формацию золото-медную, серебро-свинцово-цинковую и др. Такой же принцип применяет при классификации ртутных месторождений В. А. Кузнецов (1966 г.). Наряду с этим, была попытка выделения формаций по комплексу сопровождающих минералов — жильных и развивающихся в процессе околорудного изменения вмещающих пород (С. С. Смирнов, 1938 г.; А. В. Королев, 1959 г.; Ф. И. Вольфсон, 1962 г.; Е. А. Радкевич, 1966). В этих вариантах классификации месторождений сделана попытка установления физико-химических условий их образования находящих отражение в парагенетических ассоциациях минералов. Можно отметить, что каждая из классификаций имеет право на существование и может применяться в зависимости от того, преследуется ли цель чисто экономического подразделения руд по составу металлов, или

же задачи выяснения влияния различных факторов (геологических или физико-химических) на минералообразование.

Успешному развитию учения о рудных месторождениях в XX в. способствовал общий прогресс наук, а введение новых методов исследования позволило более детально изучать само рудное вещество. Так, применение отраженного света для микроскопического изучения руд произвело столь же значительную революцию в изучении их состава и взаимоотношения рудных минералов, какую в прошлом веке применение поляризационного микроскопа в петрографии.

Развитие минераграфического метода связано с именами Г. Шнейдерхена и П. Рамдора (Германия), Дэви, Фарнхема, К. Шварца и М. Н. Шорта (США), И. Ф. Григорьева, А. Г. Бетехтина, Л. В. Радугиной, С. А. Юшко, Т. Н. Шадлун и др. (СССР). Разработка метода позволила не только диагностировать ранее трудно определяемые минералы, но и устанавливать их возрастные взаимоотношения.

Минераграфическое изучение в сочетании с экспериментами позволило также наметить геологические термометры по структурам распада твердых растворов. Позднее были разработаны и другие методы термометрии, а также барометрии, в частности метод гомогенизации газово-жидких включений (Н. П. Ермаков) и термозвуковой метод. Эти определения позволили проводить объективную градуировку рудного процесса по температурам образования минералов, что подвело базу точных данных под эмпирические обобщения, положенные в основу классификации Линдгрена и др.

В науку о рудных месторождениях, как основа для выводов, пришел эксперимент. Попытка получить точные количественные данные для обоснования представлений о физико-химической природе процесса рудообразования составляет характерную черту теоретических исследований по проблеме генезиса руд, особенно во второй половине XX в. К обсуждению проблем генезиса руд подошли петрологи-физико-химики.

Важным отправным этапом выяснения состояния вопроса об источнике рудоносных растворов и химизма рудоносной среды была дискуссия, проведенная в конце 30-х — начале 40-х годов в США. В ней приняли участие как физико-химики, так и виднейшие знатоки рудных месторождений. Итог этой дискуссии подвел в 1946 г. Л. К. Грейтон.

Представители физико-химического направления Н. Л. Боуэн и К. Феннер безоговорочно высказались за кислый характер рудоносных растворов и существенную роль газов в переносе рудного вещества. Их поддержал Т. Лавринг на основе изучения золото-вольфрамовых месторождений Колорадо. С другой стороны, Шеллер, изучавший пегматиты, и Росс на основе изучения гидротермальных месторождений стали на точку зрения признания щелочного характера рудоносной среды, представленной преимущественно водным раствором. Эту же идею развивал и Л. Грейтон. Все исследователи признавали, что перенос рудного материала совершается в растворах очень низкой концентрации.

В 1963 г. вопрос о роли пневматолиза в рудообразовании рассматривался на конференции «Проблемы постмагматического рудообразования» в Праге, где большая часть участников дискуссии высказалась против выделения самостоятельной группы пневматолитовых месторождений, хотя многие докладчики допускали, что в процессе переноса рудного материала газовая фаза могла все же играть значительную роль. Эти взгляды опирались на эксперименты по переносу породообразующих и рудных составляющих в надкритическую стадию (опыты Н. И. Хитарова, 1944 г.; Дж. С. Кеннеди, 1950 г.; А. М. Овчинникова, 1963), а также на данные по изучению газово-жидких включений.

Д. С. Коржинский в последние два десятилетия развивает гипотезу щелочно-кислотной дифференциации растворов и появления опережающей кислотной волны в результате опережающего продвижения кислотных анионов в растворе по сравнению с другими составляющими [1]. В этой гипотезе Коржинский стоит на признании единой волны растворов, которые, по его мнению, имеют сквозьмагматический характер. Отложение же минералов тех или иных сменяющих друг друга парагенезисов определяется активностью минералообразующих компонентов и сменой условий щелочности и кислотности по мере снижения температуры растворов.

Вопросу о природе рудоносных растворов были посвящены статьи А. Г. Бетехтина, который указывал, что перенос коллоидных растворов не мог осуществляться на большие расстояния (1953б) в силу неустойчивости этих растворов и легкой их способности к дегидратации и коагуляции с дегидратацией гелей. Лишь для золота отмечалась устойчивость его коллоидных растворов при защитной роли кремнезема. Наряду с этим обсуждались и другие вопросы рудогенеза, например о прерывистости поступления растворов и соответственно многостадийности оруденения (С. С. Смирнов, 1937; Ф. И. Вольфсон и др.), или непрерывной волне единого потока эволюционирующих растворов. С этой проблемой связано и различное понимание стадийности рудного процесса. Интересно, что геологи-рудники, проводящие детальные наблюдения в забоях над взаимоотношениями минеральных ассоциаций, приходят обычно к выводу о длительном многостадийном развитии рудных тел на фоне неоднократных тектонических подвижек и повторных приоткрываний рудовмещающих трещин, открывающих путь новым порциям рудоносных растворов.

Изучение структуры рудных полей, столь важное в практическом отношении, требовало создания особой теории. Пионерами этого направления в СССР являлись А. В. Пэк (1939), В. М. Крейтер, А. В. Королев (1935) и П. А. Шехтман, а также Ф. И. Вольфсон, Л. И. Лукин и многие другие.

Последователи этого направления внесли свой вклад и в общие представления о генезисе руд и особенно детализировали данные о стадиях минерализации на основе наблюдаемых взаимных пересечений рудных прожилков. Эти сведения в значительной мере были использованы и С. С. Смирновым при разработке пульсационной теории поступления растворов в рудные трещины и связанной с этим проявлением вертикальной и горизонтальной зональности.

Исследователи структурного профиля, кроме того, выдвинули идею о структурной зональности в связи с прогрессивным развитием трещин от центра рудоносных растворов (гранитных массивов) к периферии, что определяло постепенное смещение все более низкотемпературных и поздних ассоциаций к периферии рудного поля.

Наряду с общими вопросами генезиса рудных месторождений, проблемой источника вещества, способов его переноса и отложения, вопросами генетической классификации месторождения, в XX в. получили развитие и новые направления. В частности, наметился более тесный стык науки о рудных месторождениях с региональной тектоникой и была поставлена проблема о роли процессов рудообразования в общей истории развития земной коры.

Металлогенические отличия разновозрастных сооружений — археид, протероид, палеоид и мезоид — отметил в начале 20-х годов П. Ниггли, ко-

---

[1] Н. Л. Боуэн тоже допускал более быстрое продвижение кислых составляющих в растворе, только формой переноса, по его мнению, являются газовые пузыри. Д. С. Коржинский же отрицает сколько-нибудь существенную роль газовой фазы в транспортировке рудного вещества.

торый объяснял особенности металлогении разным уровнем эрозионного среза. Он же указал на необходимость выделения разных типов петрографических и рудных провинций, и, что особенно важно, подошел к вопросу о необходимости классифицировать месторождения в тесной связи с классификацией магматических пород на геотектонической основе.

Ниггли подходит также к идеям о закономерной смене типов месторождений в ходе развития геосинклинальных зон. Он указывает, что ранние стадии их развития отмечены проявлением основных интрузий (месторождения никеля, платины и др.) и подводных эффузивов (осадочно-хемогенные месторождения железа). После орогенеза и консолидации внедряются кислые магматические дифференциаты (месторождения олова, молибдена и др.). Затем проявляются наземные вулканиты, сопровождаемые сложным комплексом месторождений, особенно характерных для молодых стадий тихоокеанской дифференциации (сложные молибден-вольфрам-висмут-касситеритовая ассоциация, вулканическая золото-серебряная, серебро-оловянная и др.). Некоторые же минеральные месторождения, удаленные от магматических источников образованы, по Ниггли, из растворов, поступающих из «симы». Таковы никель-кобальт-серебряные ассоциации Рудных гор, многие метасоматические свинцово-цинковые месторождения в карбонатных породах, относимые Ниггли к телемагматическому типу.

Представляет большой исторический интерес, противопоставление Средиземноморской и Тихоокеанской провинций. Здесь П. Ниггли уже ясно очерчивает «круговой Тихоокеанский пояс», богатый разнообразными металлами. Им затронуты многие аспекты металлогении, получившие в дальнейшем развитие. Интересно, что Ниггли отмечал особый переходный тип оловянных месторождений (промежуточный между пневматолитовыми — окисными и гидротермальными — сульфидными), который позднее был выделен С. С. Смирновым в качестве особой касситерит-сульфидной формации.

Классификацию рудных месторождений на тектонической основе развивал параллельно с Ниггли и независимо от него Г. Шнейдерхен. Эти мысли зародились у Г. Шнейдерхена еще в 20-х годах, а затем получили развитие в курсе лекций, прочитанных в 1944 г. Говоря о закономерной эволюции процессов рудообразования, Шнейдерхен в значительной мере использовал выводы Г. Штилле о стадийном развитии геосинклинальных зон и определил место процессов рудообразования в общей схеме их развития. Данные представления были развиты позднее в работе Шнейдерхена по генетической классификации рудных месторождений на геотектонической основе (Schneiderhön, 1952). Шнейдерхен, как и ранее Ниггли, выделил месторождения, возникшие в начальный этап развития геосинклиналей, в процессе складкообразования и орогенеза и на послескладчатом этапе в связи с проявлением субсеквентного вулканизма. Когда наиболее глубинные части геосинклинали располагаются близ «симы», то начинается внедрение основной магмы, «первичного магматизма», происходят морские подводные излияния наряду с формированием подчиненных плоских интрузивных тел. С ними связаны подводно-морские эксгаляционные железные руды и кремнистые сланцы, а также морские сингенетичные колчеданные образования. Вслед за этим начинаются складкообразование и орогенез, сопровождаемые внедрением огромных масс магмы. Происходит дифференциация магм от ультраосновных пород через синорогенные габбро к главной массе большей частью посторогенных гранодиоритов и гранитов. С этим синорогенным магматизмом связано подавляющее большинство магматических месторождений: магматические в ультраосновных и основных плутонах. В периферических зонах и в ореолах гранодиоритов и гранитов образуются пегматиты, контактовые, пневматитовые и гидротермальные месторождения.

По прошествии значительного времени после окончания орогенеза, когда горы уже в значительной степени денудированы, последние остатки расплавленной массы доходят до поверхности и образуют кислые субвулканические тела и вулканы субсеквентного вулканизма. С ними часто связаны очень богатые субвулканические гидротермальные месторождения.

Шнейдерхен отмечает как позднюю стадию — внедрение базальтовых магм, уже не сопровождающееся рудными месторождениями. Кратонные блоки в дальнейшем могут опускаться, причем проявляются магматизм, анатексис, гранитизация и палингенез. При этом более древние месторождения могут метаморфизоваться. Впоследствии Шнейдерхен в работе по генетической классификации месторождений (русский перевод проявился в 1957 г.) в значительной мере отходит от прежних представлений и, отмечая их противоречия, развивает новые идеи о широком развитии и большом значении процессов регенерации в развитии оруденения.

В СССР идеи о связи металлогении со стадиями развития подвижных зон развивал Ю. А. Билибин, который создал советскую металлогеническую школу, положившую в основу анализа металлогении принадлежность месторождений к тому или иному этапу развития геосинклинальных областей. Так же, как Ниггли и Шнейдерхен, Ю. А. Билибин выделил месторождения ранних, средних и поздних этапов развития геосинклинальных зон. В последующих классификациях были добавлены также начальные и конечные этапы, и сама схема получила пятичленное деление.

Направление, развиваемое Ю. А. Билибиным и его последователями (А. И. Семенов, В. Г. Грушевой, Т. А. Билибина, Г. А. Твалчрелидзе и другие), позволило осветить закономерности формирования месторождений в историческом аспекте и отразить их связи с главнейшими геологическими факторами — структурно-тектоническими зонами, определенными магматическими и осадочными комплексами, что является основой создания мелкомасштабных металлогенических карт.

Наряду с этим направлением развилось и другое, согласно которому предлагалось выделять определенные типы структурно-формационных и металлогенических зон, — фемический и сиалический, различных по положению и характеру развития (Радкевич, 1959, и др.).

Примером широкого обобщения может служить работа С. С. Смирнова по Тихоокеанскому поясу. В краткой, но очень содержательной статье С. С. Смирнов (1946) вновь поднял ранее затронутую Ниггли проблему об особенностях металлогении Тихоокеанского кольца. Он показал отличия внешней — оловянной и внутренней — олово-медной зон Тихоокеанского рудного пояса. В дальнейшем проблема Тихоокеанского пояса получила большое развитие, особенно после проведения в 1960 г. во Владивостоке первой Всесоюзной Тихоокеанской металлогенической конференции, в трудах которой (Геология и металлогения северо-западной части Тихоокеанского пояса, 1963) был подведен итог исследований и намечены планы дальнейших работ. Проблема Тихоокеанского рудного пояса получила отклик и за рубежом. Общую теорию металлогении развивал В. И. Смирнов (1962, 1963).

Много внимания уделяется разработке методов металлогенического анализа (Е. Т. Шаталов, Е. А. Радкевич, К. И. Сатпаев).

Особый раздел металлогенических исследований представляет металлогения отдельных металлов. Изучение закономерностей распределения золота рождало интересные представления по общим вопросам рудогенеза. При обсуждении генезиса месторождений золота собирался особенно интересный материал о роли региональных разломов (Делоне, Спёрр), а также о влиянии состава вмещающих пород; наметились выводы о повышенном содержании золота в основных магматических образованиях, которые в некоторых слу-

чаях рассматриваются как источник золота, извлекаемого из пород в процессе их метаморфизма.

К идее о важной роли мобилизации золота из вмещающих пород исследователи возвращались неоднократно, начиная с Ф. Зандбергера и С. Эммонса. Этим же вопросам уделяли внимание П. Н. Кропоткин, позже Ю. Г. Щербаков, Е. А. Радкевич, В. Г. Моисеенко и многие другие. Со временем все более совершенствовалась и развивалась классификация золоторудных месторождений (Г. П. Воларович, Н. В. Петровская и др.).

Интересна история развития взглядов на происхождение месторождений олова. Как известно, именно на примере оловянных месторождений родилась гипотеза А. Добре о пневматолитическом образовании [1] руд с переносом олова в виде фторида. Как ни странно, но именно эти же месторождения дали материал Зандбергеру для его выводов об извлечении олова растворами из породообразующих минералов. Гипотеза Зандбергера в свое время претерпела крушение. Однако прошло всего полвека, и снова наметился возврат к прошлым представлениям в гипотезе А. Беуса (1960) об апогранитном происхождении грейзенов за счет выщелачивания элементов из отвердевших пород.

Сходную идею заимствования олова на слюд развивает и В. Л. Барсуков (1966). Однако другие геологи по-прежнему придерживаются представления о связи оловоносных растворов непосредственно с магматическими телами, иногда залегающими на глубине.

Существенные изменения произошли в представлениях о типах оловорудных месторождений после 40-х годов в результате работ С. С. Смирнова и его последователей. Если ранее считалось, что оловянные месторождения представляют типичные пневматолитовые или переходные к гидротермальным образования с преобладающим развитием кварца, светлых слюд, то после работ С. С. Смирнова было установлено, что имеется, кроме того, очень важная в практическом отношении группа оловянных месторождений, которую С. С. Смирнов назвал касситерито-сульфидной.

Месторождения свинца и цинка изучались на Алтае В. К. Котульским, в Средней Азии — Б. Н. Наследовым, А. В. Королевым, Ф. И. Вольфсоном, на Алтае — И. Ф. Григорьевым и другими, в Забайкалье — Н. И. Свитальским, В. М. Крейтером, С. С. Смирновым. Эти работы позволили создать рудную базу свинцово-цинковой промышленности СССР.

Заметный вклад внесли геологи в представления о генезисе хромитовых месторождений, детально изученных на Урале (Г. А. Соколов, 1948; Н. В. Павлов). Было установлено, что в одних случаях месторождения хромита возникают из остаточных расплавов ультраосновной магмы, остывших в теле самого интрузива или перемещающихся за его пределы. Вместе с тем в сложно дифференцированных массивах устанавливаются и сингенетические хромитовые обособления, наиболее богатые в дуните. С. С. Зимин в 1965 г. показал, что хромшпинелиды базитовой формации отличаются от таковых гипербазитовой формации более высокой глиноземистостью.

Изучение геохимии щелочных пород советскими геологами под руководством А. Е. Ферсмана позволило выявить и создать крупный горнопромышленный центр на базе фосфоритов Хибин, а открытие никеленосных массивов Кольского полуострова и Норильска — создать отечественную никелевую промышленность.

Важные новые данные были получены при изучении осадочных руд железа и марганца. На примере Чиатурских месторождений А. Г. Бетехтин установил фации осадконакопления марганцевых руд в прибрежной мелководной

---

[1] Термин «пневматолиз» был введен Р. В. Бунзеном в 1851 г.

зоне моря. Он доказал, что марганец отлагался совместно с глинистыми коллоидальными осадками, и установил зональность в распределении различных типов марганцевых руд относительно бывшего побережья.

Большие работы были также проделаны по изучению железорудных месторождений осадочно-метаморфического генезиса как в России, так и за рубежом. Много интересных данных и материалов получено и по другим металлам: ртути — А. А. Сауковым (1946), В. П. Федорчуком, сурьме и ртути — В. Э. Поярковым (1955), молибдену — Н. А. Хрущевым, свинцу и цинку — Ф. И. Вольфсоном и др.

Важные достижения имеются в развитии представления о генезисе определенных рудных формаций и генетических типов. Значительные изменения за последние десятилетия произошли в представлении о генезисе скарновых месторождений. Ранее их нередко считали даже магматическими, подобно типу месторождения Кируна. Для руд горы Магнитной после работ А. Н. Заварицкого считалось, что как сами скарны, так и приуроченные к ним магнетитовые и другие руды, образовались на контакте огненно-жидких массивов с известняками за счет диффузии из них рудных и иных элементов (Заварицкий, 1922—1927). Однако месторождения гор Благодать и Высокой по-прежнему относились к производным особого рудного пегматитового расплава (Н. И. Свитальский), к образованиям из рудной остаточной магмы (В. М. Дервиз) или, наконец (А. Н. Заварицкий, то же месторождение горы Благодать), к ликвационно-сингенетическим образованиям, возникшим в результате расщепления сиенитовой магмы при ассимиляции известняков на рудный и силикатный расплавы (Свитальский, 1933).

Позднее работами Д. С. Коржинского (1945, 1953) и других было доказано, что скарны образуются уже после остывания магматических тел за счет биметасоматической реакции под воздействием растворов, проникающих из глубин. Помимо реакционно-биметасоматических месторождений, устанавливаются также инфильтрационные скарны. Разработанный на примере скарнов метод физико-химического анализа парагенезисов минералов оказал существенную помощь в восстановлении условий минералообразования и в других типах месторождений.

Большую эволюцию претерпело также представление о происхождении колчеданных руд. От первых, развивавшихся в прошлом веке идей о мобилизации железа из вмещающих пород, произошел крен представлений в противоположную сторону — многие колчеданные месторождения стали представлять как результат магматической инъекции. Н. И. Свитальский (1933) полагал, что они образовались в результате внедрения остаточной сульфидной массы пегматитового характера. После 30-х годов наиболее распространено было мнение о гидротермальном происхождении колчеданных залежей, пока не появилась гипотеза об эксгаляционно-осадочном их происхождении, развивавшаяся в СССР А. Н. Заварицким и получившая довольно широкое признание в Японии. В последние годы сторонниками точки зрения эксгаляционно-осадочного происхождения медноколчеданных и других колчеданных руд являются В. И. Смирнов и Г. А. Твалчрелидзе, которые рассматривают их образование в связи с проявлением вулканитов в начальной стадии развития геосинклинальных зон.

Наряду со сторонниками этих крайних гипотез имеются представители и компромиссной точки зрения, считающие, что колчеданные месторождения могут быть конвергентными (В. И. Смирнов) и давать сходные по типу руды в различных условиях: с одной стороны, путем осаждения из гидротермальных растворов, поступавших с больших глубин, иногда из тех же самых магматических очагов, что и рудогенерирующие эффузивы; с другой стороны — в процессе отложения из вулканических эксгаляций.

Не менее показательно изменение взглядов на происхождение пегматитов, начиная с представления о собственно магматическом их образовании (Ферсман, 1940) и кончая идеей о появлении пегматитовых тел в результате метасоматоза (Заварицкий, 1944). Очевидно, и здесь эти противоположные трактовки генезиса не исключают друг друга, а отражают различные варианты процессов образования внешне сходных пегматитовых тел.

В заключение следует подчеркнуть, что XX в. принес много плодотворных идей в учение о рудных месторождениях. Развитие горного производства — в начале века сначала в Америке, а несколько позже —в Советском Союзе дало большой материал для новых представлений и выводов. Одновременно с этим прогресс в смежных областях знаний и усовершенствование техники эксперимента позволили поднять научные исследования по генезису руд на более высокую ступень. Сама наука о рудах дифференцировалась и выделила из себя несколько направлений. Наметилось сближение учения о рудных месторождениях с сопредельными дисциплинами — петрографией, тектоникой, литологией, геохимией, геофизикой, а также с физической химией, физикой, и на последних этапах — с математикой, которая становится важным подсобным методом для исследователей рудных месторождений.

Хотя сами идеи о генезисе руд, казалось бы, повторяются, новая интерпретация позволяет привлекать дополнительный материал, получаемый в результате новейших точных исследований. Идеи, временно отвергаемые, позднее часто возрождаются вновь, но уже на новой основе, причем споры и дискуссии, которые возникают в борьбе мнений, обычно являются главным стимулом дальнейшего развития теории и поисков новых доказательств и фактов.

Разнообразие теоретических представлений в значительной мере обусловлено тем, что, действительно, рудные месторождения могут возникать при разных условиях и путем различных процессов.

Конвергентность рудных месторождений и является главной причиной столь многообразного толкования особенностей и условий их происхождения.

Очевидно, что, имея такую сложную и разнородную систему, как рудообразование, следует избегать крайностей и не добиваться монопольного значения той или иной гипотезы, потому что ни одна из них не сможет полностью и универсально объяснить возникновение всего многообразия руд.

УЧЕНИЕ О НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Самым характерным для XX столетия является значительное развитие науки, контролирующей как поисковые работы на то или иное нерудное сырье, так и изменение требований к нерудному сырью, что резко изменяет профиль его использования. Одновременно с этим характерно очень большое увеличение потребления всех видов нерудных материалов, настолько большое, что практически нет материалов, добыча которых не возрастала бы. Использование некоторых видов сырья увеличивается в относительно небольших масштабах, потребление других — в очень больших размерах, цена на них растет, и это сырье часто становится резко дефицитным.

Вторая особенность рассматриваемого периода — резкая концентрация промышленности в руках отдельных монополистических концернов и мощных предприятий, максимально механизирующих добычу и обработку и поставляющих потребителю строго стандартизированную продукцию, значительно более дешевую, чем можно получить на полукустарных предприятиях. Особенно резко сказывается эта специализация в области дешевых ви-

дов неметаллического сырья, где само сырье практически совершенно недифицитно и дешево, а главную долю в общей стоимости продукции составляет обработка и стандартизация полуфабриката.

Монопольные фирмы крупных капиталистических концернов экономически развитых стран концентрируют у себя такую добычу нерудных полезных ископаемых, а в экономически мало развитые страны поставляют полуфабрикат часто более стандартный, более дешевый и более качественный по сравнению с отечественной продукцией. В результате добыча относительно дешевых малодефицитных материалов в экономически слабо развитых странах прекращается, а все потребности в этом сырье покрываются за счет импорта из более развитых стран. Цементное сырье, каолин, строительные материалы, стекло, продукты металлургических и машиностроительных производств — все это и многое другое ввозится в слаборазвитые страны, а кроме того, собственная промышленность этих стран не нуждается во вспомогательном сырье, таком, как керамическое сырье, огнеупорные и формовочные материалы, кристаллосырье и т. д.

Царская Россия, в частности, представляла собой типичную экономически мало развитую страну, и несмотря на наличие природных ресурсов и большие геологические силы, не развивала собственной неметаллической промышленности, а очень большую потребность страны в неметаллической продукции покрывала прямым импортом сырья, полуфабрикатов или готовой продукции. Так, до 1914 г. в Россию импортировались весь потребляемый в стране тальк, все абразивы, все химические продукты, все минеральные удобрения, значительное количество потребляемых огнеупоров, примерно 60—70% всего потребляемого каолина, значительная часть цемента и т. д. Ввозилось большое количество строительного камня (в 1909 г. ввезено 105 *т* бутового камня, 35 тыс. *т* штучного камня, 1 тыс. *т* изделий из камня, в 1911 г. ввезено около 4 млн. *т* гранита, 33 млн. *т* известняка и т. д.). Ввозилась и кровельная черепица.

Положение промышленности неметаллов в слаборазвитых странах сейчас в целом хуже, чем в дореволюционной России.

Следует учитывать эту особенность капиталистического хозяйства, особенно резко проявляющуюся в текущем веке, при рассмотрении истории учения о неметаллических полезных ископаемых. Зачастую экономику промышленности определяют не ресурсы или состояние науки, а конъюнктура капиталистического рынка.

В рассматриваемый период огромную роль в народном хозяйстве стали играть буквально все виды химического сырья, поскольку промышленность использует в больших количествах практически все земные элементы.

Как и ранее, все время огромной была потребность в поваренной соли и в калийных и магнезиальных солях. До первой мировой войны (1914—1918 гг.) всю мировую потребность в калии и магнии, как и в самих этих элементах, удовлетворяла германская промышленность за счет соляных залежей страсфуртского района. В остальных странах добывалась только поваренная соль, месторождений калийно-магнезиальных солей не было совершенно.

В результате в военные годы антигерманская коалиция оказалась в исключительно тяжелом положении из-за отсутствия калия. Небольшие месторождения Франции не могли удовлетворить очень большой потребности в нем. Велись работы по изучению возможностей химического использования калия, калийных силикатов, но экономического успеха они не дали.

В послевоенные годы германские монополии вновь овладели рынками.

Первую брешь в германской монополии пробила Советская страна. Оставшись без собственных удобрений, Советский Союз, нуждающийся в них для подъема земледелия, направил все силы на поиски этого вида химичес-

кого сырья. Поиски, поставленные на основе современного научного прогноза и глубоких геохимических поисков, увенчались блестящим успехом. В 1927 г. было открыто огромное Верхне-Камское калийно-магнезиальное месторождение. С этого времени центр теоретических исследований генезиса калийных солей и их размещения перемещаются в Советский Союз. Работы в этой области резко расширились, что привело к дальнейшим успехам: открытию калийно-магнезиальных солей в Казахстане и других районах.

Особое значение имело глубокое нефтяное бурение, вскрывавшее в ряде случаев мощные соляные толщи. Были открыты крупнейшие области солеотложений Советского Союза в Приуралье, Днепровско-Донецкой впадине, Восточной Сибири, а за рубежом — в Польше, ГДР, и особенно огромный бассейн Саскачевана в Северной Америке. Пришлось пересмотреть теорию генезиса солей. Господствовавшая ранее гипотеза закрытых солеродных заливов (теория Оксениуса) оказалась не в состоянии объяснить образование вновь открытых огромных соляных залежей. Появилась гипотеза отграниченных глубоко засоленных морей, в общем связанных с океаном. Развитие геохимии солеродных бассейнов показало, что представления о высаживании калийно-магнезиальных солей из остаточной рапы несостоятельны. Рапа, концентрированная настолько что из нее могут высаживаться эти соли, остается в таком малом количестве, что не может образовать озеро на поверхности высадившейся соли. Она будет только межкристальной рапой. Таким образом, залежи калийных и магнезиальных солей могут образовываться только в тех случаях, когда геологическими условиями создается возможность для межкристальной рапы стекать в некоторые участки на поверхности соли. Новые теории солеобразования и новые методы поисков (нейтронный каротаж) значительно увеличили возможности геологов, и месторождения калийных солей стали открываться в ряде стран.

Особенно тяжелое положение с калийными и магнезиальными солями создалось в США, где до второй мировой войны не было месторождений этих солей. Потребность в калии и магнии старались удовлетворить в США самыми разными путями, в первую очередь за счет доломита и морской воды. В предвоенные годы бурением были найдены небольшие месторождения калийно-магнезиальных солей в штате Новая Мексика, а в последние годы новые методы исследования позволили обнаружить крупнейшие залежи Саскачевана, к разработке которых уже приступают.

Крайне интересна история чилийской селитры. До 1914 г. весь мир монопольно снабжали селитрой и йодом месторождения Чили. Интенсивные исследовательские работы, проводившиеся буквально во всем мире, результатов не дали — ничего подобного чилийским месторождениям найдено не было. Во время первой мировой войны в результате такого положения Германия оказалась лишенной азотных соединений. Это заставило немецких химиков резко расширить исследовательские работы по связыванию азота воздуха, что привело к большому успеху. В дальнейшем проблема азотного сырья перестала быть сферой обсуждения геологов, а перешла к химикам, черпавшим сырье из безграничного воздушного океана.

Йод и после этого долгое время оставался монополией чилийских компаний, поскольку йод, полученный из водорослей, был значительно дороже. Разрушить монополию удалось в начале 30-х годов советским геохимикам, установившим резко повышенное содержание йода в некоторых нефтяных водах. После этого открытия делом химиков было разработать методы экономически выгодного его извлечения. В настоящее время главная масса йода и брома получается из водных рассолов, частично из морской воды.

В истории фосфора не было резких переломных моментов. Потребность в фосфоре росла во всем мире вместе с ростом посевных площадей и интенси-

фикацией земледелия. Поиски фосфоритов продолжались во всем мире и приводили ко многим открытиям, позволявшим постепенно увеличивать добычу, однако все эти открытия сводились к выявлению осадочных фосфоритов. Советские геологи внесли в эту международную работу довольно большой вклад. В начале 20-х годов появились замечательные работы Я. В. Самойлова (1916 г.), связавшие геохимические особенности осадочных пород с палеофизиологией (бóльшим или меньшим участием в жизненных процессах древних организмов того или иного элемента). Впоследствии эти представления были оставлены, но они дали большой толчок дальнейшим исследовательским работам. В области учения о фосфоритах на смену им пришли идеи А. В. Казакова (первые публикации их появились в 30-е годы), по которым фосфорные минералы фосфоритов представляют собой нормальный химический осадок в определенной фации (Казаков, 1939). Идеи эти хотя и отвергаются некоторыми специалистами, но широко обсуждаются во всем мире и являются ведущими при поисках фосфоритов.

Весьма важным оказался в истории фосфора 1926 г., когда экспедиции А. Е. Ферсмана привели к открытию в Хибинах, в магматических породах, крупнейших месторождений апатита — минерала, который до тех пор не рассматривался как источник фосфора.

Открытие это повлекло за собой интенсивное изучение закономерностей распределения апатита в горных породах и поисков его месторождений, что привело к ряду интереснейших результатов. Выявилось, что апатит концентрируется в щелочно-основных карбонатитового типа интрузиях, а также в некоторых метаморфических образованиях. Апатит стал добываться из карбонатитов в Африке на месторождениях Палаборы, а из метаморфических пород — в местности Лао-Кай во Вьетнаме.

Открытием последних лет явилось изучение поведения фосфора в процессе выветривания, причем выяснилось, что коры выветривания резко обогащаются фосфором, и некоторые участки кор выветривания на бедных фосфором породах оказываются настолько обогащены, что могут с выгодой эксплуатироваться. Разработки подобного рода известны в Сенегале, и, видимо, будут организованы в Сибири.

Граница XIX и XX веков захватывает историю серы как раз на переломном моменте. Разработанный Фрашем в конце XIX в. метод добычи серы — выплавление ее в месторождении и выкачка расплавленной серы из буровых скважин — в начале XX в. был применен к американским месторождениям Техаса и Луизианы, где сера вместе с нефтью встречалась близ солянокупольных образований. Первый же опыт применения метода Фраша дал блестящие результаты, удалось получить большие количества дешевой серы. В результате уже к 1904—1905 гг. американские промышленники фактически ликвидируют, а потом скупают промышленность Сицилии, и становятся почти безраздельными монополистами серного рынка. С этого времени примерно 50 лет США дают около 90—95% всей добываемой в мире серы и широко экспортируют ее во все страны мира, кроме Советского Союза. Возможность получить дешевую серу ведет в капиталистических странах к снижению добычи серного колчедана. Примерно в конце 30-х годов начинаются работы по разработке методов улавливания попутных сернистых газов, что приводит относительному успеху — получаемая сера оказывается близкой по цене к американской сере.

Положение с серой в Советском Союзе с первых лет социалистического строительства было тяжелым. Месторождения Поволжья оказались весьма бедными; начинаются интенсивные поиски серы. Первоначально, после экспедиции А. Е. Ферсмана в 20-х годах удается получить некоторое количество относительно дорогой серы из серных бугров в Каракумах, затем были

открыты месторождения Гаурдака и параллельно на уральских заводах налажено получение попутной серы. Уже после войны был открыт огромный Прикарпатский сернистый бассейн, который ликвидирует «серный голод» и снабжает серой не только Советский Союз, но и другие социалистические страны — Польшу и Румынию. Интенсивные исследовательские работы по генезису серы привели к весьма интересным выводам, показавшим существование обильной бактериальной жизни в серных месторождениях (и в промышленных складах серной руды). Отсюда появление новых представлений об исключительной молодости всех серных месторождений. Предположения эти усиленно оспариваются в литературе, однако им нельзя отказать в известной справедливости, а главное, в практической перспективности.

Дальнейшая история с серой в капиталистических странах после 50-х годов слагалась крайне своеобразно. Американские месторождения истощались; Америка и связанные с ней страны оказались без серы. США прекратили экспорт серы, и английским и французским промышленникам пришлось организовать добычу серы. В Англии удалось наладить получение серной кислоты из гипса (с параллельным получением цемента), а во Франции приступили к эксплуатации собственных небольших месторождений. Для США известным выходом была эксплуатация сероносных соляных куполов, открытых в Мексике и в прилегающих к ней частях Мексиканского залива.

В настоящее время во всем мире развернулись интенсивные работы по разработке методов получения серы за счет сернистых нефтей и природных промышленных газов. Интенсивно ведутся исследования вулканических месторождений серы. По некоторым подсчетам ресурсы этих последних больше, нежели ресурсы осадочной серы.

Остальные виды химического сырья также обнаруживают тенденцию интенсивного роста потребления, однако в их истории не было резких переломов, связанных с изменением теоретических представлений о генезисе или изменении технологии исследования.

Тенденция расширения производства цементов, преимущественно портландцемента, наметившаяся в конце XIX столетия, продолжает развиваться и в XX в.; цемент становится основным строительным материалом, а цементное сырье — полезным ископаемым номер один, поскольку по своей общей стоимости оно намного превышает все остальные полезные ископаемые (как металлические, так и неметаллические). Появляются новые виды цементов, вследствие этого требуются новые виды сырья. Так, появившаяся в 50-е годы мода на белый и цветной цемент поставила очень жесткие условия по содержанию железа как в известняке, так и в глинах. Во всем мире начались изучения содержания железа в известняках и поиски маложелезистых известняков, маложелезистых каолинов и глин, а также природных красителей, не снижающих прочность цемента и дающих чистые цвета.

Стремление удешевить и рационализировать строительство вызвало к жизни легкобетонное строительство, появилась потребность на различного рода легкие заполнители бетона. Таких заполнителей оказалось три основных типа: искусственно вспученные керамические материалы (типа керамзита); искусственно вспученные вулканические стекла; природно вспученные вулканические продукты. Керамзитовые материалы могут получаться как за счет переработки некоторых пластичных четвертичных или третичных глин, так и различного типа сланцев и аргиллитов. Появилось очень большое число работ во всем мире, в которых исследуются, во-первых, причины вспучивания глин, и, во-вторых, ресурсы керамзитового сырья того или иного района. Основные результаты этих работ сводятся к следующему. Хорошо вспучивающиеся глины должны состоять из монтмориллонита, преимущественно достаточно железистого и потому легкоплавкого, с тем, чтобы за счет плавле-

ния этого минерала при относительно низких температурах на внешней поверхности глиняного окатыша или аргиллитового обломка создавалась бы тонкая стекловатая пленка и одновременно внутри окатыша или обломка сохранялось бы органическое вещество или влага, газовая часть которых при сгорании или испарении вспучивали бы образовавшуюся оболочку, создавая легкое пористое зерно. Искусственные добавки органических материалов иногда могут перевести невспучивающиеся глины во вспучивающиеся, пригодные для приготовления керамзита.

Очень интересна история вспучивающихся стекол. В конце 30-х годов М. П. Воларович, изучая в Москве происхождение пемз, указал на способность вспучивания при быстром нагреве некоторых, содержащих воду вулканических стекол, а П. П. Будников в 1941 г. в московском журнале указал на экономическую целесообразность использования этого процесса для получения легкого заполнителя бетона и теплоизолятора. Эти работы, прореферированные в Америке, были там практически реализованы, и уже к концу войны, в 1945 г., в США существовала весьма мощная промышленность вспученного перлита (водного вулканического стекла), получавшегося первоначально из открытых в эти годы месторождений Новой Мексики. В дальнейшем поиски перлитового сырья и стройка заводов по его вспучиванию начали проводиться во всех странах. Особенно важной оказалась экономическая целесообразность перевозки дробленого сырья на большие расстояния, вплоть до нескольких тысяч километров, и вспучивания его на месте потребления. При этом стоимость перевозки распределяется на большой объем продукции, и последняя может успешно конкурировать с местным материалом.

Природно вспученными материалами являются пемза и природные шлаки. Дальние перевозки их малоэффективны, но как местный материал они применяются очень широко.

Экономически выгодным оказалось использование в ряде производств для получения фасонных изделий (трубы, кислотоупорная облицовка, плитки и пр.) плавленного базальта. Первое производство такого рода было организовано во Франции в 1909 г. и породило целую серию работ по изучению условий плавления базальта и его кристаллизации.

Впоследствии плавленный базальт (или шихта базальтового состава из других горных пород) использовался для получения теплоизоляционной базальтовой (минеральной, стеклянной) ваты. Заводы плавленного базальта и минеральной ваты продолжают совершенствоваться и расширяться. Публикуется большое количество работ по поискам сырья для этих заводов, их оценки и испытанию.

Крайне интересна история абразивов. К началу XX в., как и ранее, основным абразивным материалом высокой твердости являлись природные наждаки и корунды, которые повсеместно успешно использовались. Месторождений их нехватало. Широко эксплуатировались для получения бытовых абразивов различные песчаники и кварциты. Особенно тяжелое положение создалось в Советском Союзе, ранее не производившем абразивных материалов. В 20-е годы под председательством А. Е. Ферсмана был созван ряд совещаний с участием геологов и специалистов промышленности, задачей которых было решение проблемы абразивных материалов. Выходом из тяжелого положения явилось открытие в 1926 г. М. П. Русаковым и Н. И. Наковником месторождений корунда Семиз-Бугу среди вторичных кварцитов Казахстана. Корунд Семиз-Бугу был основным материалом, на котором строилась советская абразивная промышленность.

Выше указывалось, что еще в конце прошлого столетия во Франции был синтезирован корунд и разработана методика его кристаллизации. Позже

начаты были работы по изучению методов его массового синтеза, а в конце 20-х годов были разработаны методы синтеза корунда из порошковатого глинозема и боксита в больших массах, в электропечах. Свойства синтетического корунда (и карборунда — карбида кремния, синтез которого был разработан в те же годы) оказались намного лучше, чем свойства естественных материалов, а их стандартность позволила перейти на производство абразивного материала высокой точности. Все это привело к тому, что естественные абразивы практически потеряли потребителя, и месторождения природного корунда были заброшены. В настоящее время интерес к природному корунду вновь несколько возрос, но он уже рассматривается не как абразивный материал, а как источник глинозема и как огнеупорный материал.

В начале XX столетия вновь возрождается старый слюдяной промысел. Слюда сейчас рассматривается как важнейший электропроводящий материал. Стоимость слюдяных кристаллов резко растет вместе с увеличением их размера; особенно дефицитной является слюда самого крупного размера. Добыча мусковитовой слюды, крупные кристаллы которой встречаются только в пегматитовых жилах, ее широкие поиски во всем мире привели к значительному усилению изучения пегматитов. Появляется ряд работ, освещающих природу этих интереснейших образований. Теории генезиса пегматитов обсуждаются до сих пор, они теснейшим образом связаны с общими проблемами генезиса гранитной магмы и базируются во многом на большом фактическом материале, получаемом при разведке и эксплуатации слюдяных месторождений. Наряду с мусковитом практически используются, особенно в СССР, флогопитовые слюды. Большие поисковые работы, проведенные на флогопит, позволили во многом усовершенствовать теорию метасоматического процесса, поскольку слюда этого типа встречается в метасоматически измененных магнезиально-карбонатных толщах.

Параллельно с поисками природной слюды во всех экономически развитых странах ведутся большие работы по синтезу слюды. Эти работы, основание которым было положено в начале 30-х годов, когда ленинградский минералог Д. П. Григорьев впервые синтезировал мелкокристаллический фторфлогопит, имеют известный успех. Они показали, что синтетические слюды во многом по своим электротехническим свойствам лучше природных, и несмотря на свою более высокую стоимость, могут быть использованы. До сих пор, однако, не удается получить крупных кристаллов; синтетическая слюда может применяться только для изготовления мелких деталей. Ведется большая исследовательская работа по изучению условий и характера высокотемпературной кристаллизации слюдяного расплава; изучается влияние изоморфных замещений в слюде на ее свойства.

Открытие пьезоэлектричества П. Кюри и практическое использование этого феномена в радиотехнике потребовало резко увеличить количество пьезооптических материалов — кристаллического кварца и турмалина. Основную трудность представляют исключительно высокие требования к качеству кристаллов; совершенство кристаллов и «чистота воды» кристалла у пьезооптических материалов должны быть большими, чем у драгоценного камня. В 20-е годы начаты были интенсивные поиски пьезооптических минералов, которые увенчались известным успехом. В Бразилии были открыты крупные поля кварцевых жил, которые до сих пор снабжают пьезокварцем весь капиталистический мир. Появилось большое количество работ по описанию и расшифровке генезиса пьезооптических материалов. Поскольку стоимость пьезооптических кристаллов весьма велика, начались работы по изучению методов искусственной кристаллизации кварца. Работы в этом направлении в середине 50-х годов увенчались успехом, и сейчас имеются публикации, описывающие практику синтеза искусственного пьезокварца.

Однако это пока не исключает необходимости поисков естественного кварца.

Начало XX в. внесло довольно много нового в историю изучения алмаза. После открытия алмазных месторождений Южной Африки, крупным событием явилось открытие алмазов в Юго-Западной Африке (1908 г.) и в Конго, которые дают сейчас главную массу алмазов. В 1926 г. были открыты богатейшие россыпи в Трансваале (Лихтенбургские россыпи). В начале 50-х годов были открыты россыпные и коренные месторождения алмазов в Сибири, что может рассматриваться как триумф метода научных поисков. Как район поисков, так и методы их явились результатом, во-первых, огромных исследовательских работ, проведенных советскими геологами по анализу материалов африканских месторождений и, во-вторых, прекрасного знания собственной страны и умения вести целесообразные, строго направленные поиски.

Важнейшим событием в истории алмаза был его синтез, который позволил точно установить параметры области устойчивости алмаза. Синтез, помимо его практической ценности, имел огромную теоретическую значимость, он показал, что кимберлиты (материнская порода алмаза) в природных условиях не могли возникнуть в пределах земной коры; сейчас не вызывает сомнения, что они происходят из более глубоких частей Земли — ее верхней мантии.

Конечно, дать обзор успехов науки в выявлении и изучении неметаллических ископаемых в XX в.— задача исключительно трудная, требующая значительно больше места, чем этому может быть уделено в настоящем издании. Каждая исследовательская работа в области того или иного полезного ископаемого немедленно сказывается на успехах в поисках и освоении ресурсов этого полезного ископаемого. Вместе с тем находка каждого нового месторождения, изучение нового эксплуатационного участка — все это значительно обогащало наши знания и позволяло иначе подойти к решению вопросов генезиса и размещения полезных ископаемых.

Из всего огромного числа неметаллических полезных ископаемых, потребляемого промышленностью в настоящее время, мы остановились только на истории открытия самых ярких, в основном тех, где лучше всего проявились современные тенденции развития. История других их видов в известной мере похожа на описанные, но у всех видов нерудного сырья сейчас имеется одно общее свойство: промышленность требует все больших и больших его количеств и стандартности свойств.

ГЕОЛОГИЯ УГЛЯ

К началу XX в. геологии угля как самостоятельной отрасли геологических знаний еще не существовало, хотя отдельные разделы будущей науки об угле получили уже более или менее полное освещение.

Человек начал использовать уголь с незапамятных времен. Гораздо раньше начали складываться конкретные научные представления о свойствах углей и, тем более, об условиях их образования.

До конца средних веков происхождение угля рассматривалось вне связи с торфом. Основатель минералогии Агрикола в середине XVI в. считал каменный уголь затвердевшей нефтью. К этому же времени относятся первые попытки сопоставить ископаемые угли с растительными остатками и объяснить происхождение углей из последних (В. Кордус, 1554 г., Б. Клей, 1592 г., и др.) [1]. Однако еще в XVIII в. даже представление о том, что торф

[1] При изложении развития представлений об ископаемом угле до начала XX в. автор использовал сводку представлений по этому вопросу А. В. Македонова и других «Геологические и геохимические условия формирования современных и ископаемых торфов, бурых углей и вмещающих пород» (ВСЕГЕИ, 1967 г.).

накапливается в результате разложения растительных остатков, оставалось по существу догадкой, наряду с которой господствовали самые различные и подчас фантастические гипотезы об образовании угля.

В конце XVII и начале XVIII в., по мере роста мануфактуры и горнозаводских предприятий, начала ощущаться потребность в минеральном топливе. В западных странах на базе открытия угольных месторождений, в особенности в Англии и Германии, а в конце XVIII в. также в США начала развиваться угольная промышленность.

В России в допетровские времена (к началу XVIII в.) потребность в минеральном топливе еще не возникла. Энергетической базой в это время для достаточно широко развитого горного промысла и металлургических заводов являлось древесное топливо. Использованию его способствовало получение на древесном угле высококачественного металла, а главное — обилие лесов и поощрение их рубки под селения, пашни, заводы и другие угодья.

Первые шаги к развитию в России угольной промышленности были сделаны Петром I. В 1719 г. вместо Приказа рудокопных дел он учредил Берг-коллегию со штатом «доносителей», в числе которых были лучшие «рудознатцы» (Григорий Капустин, Иван Палицин, Михаил Волков и другие первооткрыватели наших угольных богатств). В 1722 г. по именному указу Петра I были организованы первые экспедиции для поисков угля на юге, а затем и в других областях России. В результате этих мероприятий в 20-х годах XVIII в. были открыты Донецкий, Подмосковный и Кузнецкий бассейны; в конце XVIII в.— месторождения Урала (Кизел) и др. Вместе с этим начал накапливаться материал о качестве углей и особенностях этих бассейнов.

Сильным толчком к развитию угольной промышленности во всем мире и росту знаний об ископаемом угле явилось изобретение в 60-х годах XVIII в. паровой машины и переход от малоэффективного ручного труда (мануфактур) к машинному производству. Это был промышленный переворот. Происходил быстрый рост количества все более совершенных паровых машин — к концу XVIII в. их общая мощность достигла уже 120 млн. л. с. С появлением паровой машины резко возросла потребность в ископаемом угле. Угольные богатства Англии и других стран, не находившие до этого массового потребителя [1], получили большое значение и толчок к дальнейшему изучению.

В России в конце XVIII в. началось систематическое геологическое изучение и разведка Донецкого бассейна: с 1790 г. горным инженером Ильиным, а с 1827 г. совместно с Е. П. Ковалевским, который составил первую геологическую карту бассейна с показом на ней 25 месторождений угля. Примерно в это же время начинается и добыча угля в восточной части Донецкого бассейна.

Бросая общий взгляд на развитие представлений об угле и геологии угольных месторождений в середине и конце XVIII в., следует отметить, что в трактате «Слово о рождении металлов» М. В. Ломоносов (1757 г.) указывал на растительное происхождение торфа и ископаемого угля — «они растениям свое происхождение долженствуют». В это же время И. Г. Леман (Lehmann, 1756), ставший в 60-х годах русским академиком, рассматривал пласты каменного угля как осадочную породу, образовавшуюся из скопления растительных остатков, принесенных водным путем. Говоря современным языком, он явился основоположником теории аллохтонного

[1] В начале XIX в., например, в США наблюдалось даже перепроизводство добычи угля, который, несмотря на широкую его рекламу (включая показательное сжигание и проч.), не находил потребителя, и твердые сорта его использовались для мощения улиц.

происхождения углей. В противоположность ему несколько позже германский ученый Ф. Берольдинген (Beroldingen, 1778, 2-е изд., 1792) обосновал представление об автохтонном происхождении углей и впервые показал существование в природе закономерного ряда: растительные остатки — их скопление — торф — бурый уголь — каменный уголь, заложив таким образом один из краеугольных камней в учение об ископаемых углях. К концу XVIII в. к этим взглядам присоединились многие натуралисты. Д. Геттон (Hutton, 1795), развивая эту теорию, впервые связывал процесс образования ряда торф — уголь — антрацит со степенью прогрева исходного материала.

В XIX в. рост потребности в угле и развитие угольной промышленности стимулировали значительно более детальное изучение угля и угольных месторождений, что способствовало дальнейшему развитию конкретных научных представлений о составе и происхождении угля и строении угольных месторождений. С более разносторонним использованием углей как энергетического и технологического (для коксовой промышленности) сырья росли и углублялись знания их химико-технологических свойств, петрографического состава и других особенностей, уточнялись физико-географические условия их образования и проч.

Отметим лишь главнейшие вехи в развитии геологических знаний этого времени, из которых постепенно складывалось учение о геологии угля.

К 40-м годам XIX в. растительное происхождение углей уже не подвергалось сомнению, и все менее оспаривалось их образование из торфа на месте роста углеобразующей растительности. Это подтвердилось применением в 1838 г. германским ученым Г. Линком (Link, 1838) и несколько позже — Л. Б. Иваницким (1842 г.) микроскопических исследований углей, чем было положено начало углепетрографии.

Что касается способов накопления пластов угля и условий образования вмещающих их угленосных отложений, то в течение всего XIX в. продолжал дискутироваться вопрос о торфяном — автохтонном или переносном — аллохтонном происхождении углей. Ч. Лайель (1845 г.) разработал дельтовую гипотезу образования углей; к ней в конце XIX в. на примере французского бассейна Коммантри еще раз возвратился Х. Файоль (1886—1899 гг.). Для захоронения торфяников и перехода их в ископаемое состояние большинство исследователей признавали необходимость опускания областей углеобразования. Американец Г. Д. Роджерс (Rogers, 1843) на систематизированном материале карбоновых угленосных отложений США развил четкую концепцию автохтонного накопления этих углей из торфяников на берегу крупного морского бассейна, высказав суждение о наличии при образовании этих отложений медленного опускания, прерываемого паузами и восходящими движениями. Им было положено начало спора о том, какого характера движения происходят при образовании угленосных отложений, спора, возникшего уже более 100 лет назад и продолжающегося по настоящее время.

Немецкому ученому К. Ф. Науману (Naumann, 1854), развивавшему представления Роджерса, удалось подметить, что углеобразование происходит или в обстановках, связанных с морем (паралический тип), или в континентальной — озерной обстановке (лимнический тип). И поныне большинство геологов разделяют его представление и широко используют эту терминологию.

В увеличивающемся потоке новых данных по геологии угля особенно плодотворными оказались 70—80-е годы XIX в. В это время Дж. Стивенсон (1873—1878 гг.) на материале карбоновых углей США вновь фундаментально аргументировал автохтонную (торфяную) теорию их образования. Для углей Западной Европы француз Л. Грюнер (1873 г.) разработал свою клас-

сификацию каменных углей, получившую широкое распространение и основанную на изменении химических и технологических (характер кокса) их свойствах с учетом направления использования. Выделенные им марки (типы): I — сухие длиннопламенные, II — жирные длиннопламенные, или газовые, III — жирные, или кузнечные, IV — коксовые, V — тощие угли, или полуантрациты — прочно вошли в обиход маркировки углей и оказались удобными для углей России (в особенности Донбасса). На основе этой классификации были разработаны подобные классификации углей для других бассейнов.

В это же время германским маркшейдером К. Хильтом (Hilt, 1873) в Рурском бассейне была установлена закономерность в изменении качества углей, получившая название правила Хильта и заключающаяся в увеличении степени метаморфизма угля стратиграфически вниз по разрезу угленосной толщи. Этой закономерности в Рурском бассейне придали стратиграфическое значение, назвав свиты по марочному составу углей (свита длиннопламенных, газовых и прочих углей). Правило Хильта было подтверждено впоследствии во всех угольных бассейнах мира с мощными (на современном языке — геосинклинальными) угленосными отложениями.

В 80-е годы и почти до конца XIX в. на фоне продолжающейся дискуссии об аллохтонии или автохтонии углей, паралическом или лимническом их происхождении следует отметить работу германского геолога К. Гюмбеля (Gümbel, 1883), посвященную детальному сравнительному углепетрографическому изучению гаммы углей от торфа до бурых и антрацитов. В этой работе он заложил, по существу, современные представления о петрографических компонентах и типах угля, образующихся в зависимости от сочетания разнообразных факторов (исходной растительности, условий обводнения, характера превращений и проч.). Гюмбелем впервые вводятся сами термины «автохтонный» и «аллохтонный», а также термин «Inkohlung» для обозначения процесса перехода от накопления растительных остатков к каменным углям. Этот термин был переведен впоследствии З. В. Ергольской (1932 г.) как «углефикация».

В конце 80-х годов продолжали обсуждаться вопросы происхождения бурых, каменных и других видов углей (кеннели, богхеды и пр.), чему способствовало изготовление из них прозрачных шлифов.

В это же время появились первые работы Генри Потонье (Potonie, с 1886 г.), выдающегося палеоботаника и одного из основоположников угольной геологии, основные работы которого получили широкую известность уже в начале XX века. В 1882 г. в России организовалась единая государственная геологическая служба — Геологический комитет. С 1892 г. Геологический комитет начал составление детальной геологической карты Донецкого бассейна в масштабе 1 : 42 000 под руководством Ф. Н. Чернышева, а с 1897 г.— Л. И. Лутугина. Совместно со сформированным им коллективом выдающихся исследователей (П. И. Бутов, А. А. Гапеев, С. В. Кумпан, Б. Ф. Мефферт, А. А. Снятков, П.И. Степанов, В. И. Яворский и другие) Л. И. Лутугиным была разработана методика детального геологического картирования угленосных отложений.

Ввиду особенностей геологического строения Донецкого бассейна эта методика заключалась в детальном послойном литологическом изучении по естественным обнажениям (балкам) разрезов угленосных отложений в сочетании с прослеживанием на дневной поверхности по гривкам наиболее устойчивых к выветриванию маркирующих горизонтов (известняков и песчаников). Прослеживание их позволяло с большей достоверностью устанавливать тектонический скелет бассейна (складки и разрывы). Наблюдения на поверхности сопровождались детальным изучением состава углей и его

изменения на площади по шахтным пробам, а также наблюдениями в горных выработках строения пластов угля, тектонических нарушений, всевозможных включений и замещений угля другими породами и проч. Таким путем при составлении геологической карты Донецкого бассейна были заложены основы русской угольной геологии. Все это позволяет считать Донецкий бассейн колыбелью — отечественной угольной геологии, а ее основоположником Л. И. Лутугина. Уникальная детальная геологическая карта Донецкого бассейна получила мировую известность и на международной выставке в Турине в 1913 г. была удостоена «Большой золотой медали».

Между развитием угольной промышленности и уровнем знаний по геологии угля есть известное соответствие. В качестве некоторого показателя состояния геологии угля можно использовать данные о запасах и добыче угля в мире и отдельных странах. Первый подсчет мировых запасов угля был сделан в 1913 г. к XII сессии Международного геологического конгресса: запасы угля до глубины 1800 *м* составили 7397 млрд. *т*. Из них в России было 234 млрд. *т* или 3,2% мировых запасов. После США, Канады, Китая и Германии, Россия была на пятом месте.

В 1913 г. в мире было добыто 1216 млн. *т* угля, которые по странам распределялись следующим образом (в млн. *т*): США — 517, Англия — 292, Германия — 247, Польша — 41, Франция — 40, Россия — 29. Остальная добыча падала на другие страны. Таким образом по добыче угля Россия была на шестом месте (2,4% мировой добычи). Следует отметить, что 87% угля добывалось в Донецком бассейне, который являлся, по существу, единственным, подготовленным к освоению промышленностью. Однако по научному уровню геологические работы в Донецком бассейне не уступали, а в известной мере превосходили зарубежные.

Развитие мировой геологии угля с начала XX в. по настоящее время целесообразно показать на узловых ее вопросах: происхождение и свойства углей, геологические закономерности строения и образования угленосных толщ, размещение месторождений угля и учение об угленосных формациях.

В сводной основополагающей работе Г. Потонье «Происхождение каменного угля и других каустобиолитов», изданной в Германии с начала XX в., шесть раз в переведенной на русский язык в 1934 г., впервые всесторонне рассматривается происхождение углей, выделяются три группы углей (гумиты, сапропелиты и липтобиолиты). Потонье детально анализирует происходящие при их образовании биохимические процессы (гумификации, битуминизации), сравнивая их с современными процессами торфо- и сапропелеобразования. Основываясь на многих фактах, Потонье решительно высказывается за автохтонную теорию образования углей. Эта работа явилась классической основой для развития последующих исследований в этом направлении. Вместе с тем, будучи палеоботаником, Потонье не обратил внимания на значение геологических факторов при вторичных (говоря современным языком — метаморфических) изменениях углей. Образование ряда торф — антрацит он объяснил в основном длительностью химических превращений, воздействие же давления и температуры считал случайным.

Работы Потонье имели большое значение и в том отношении, что привлекли внимание исследователей (вначале в основном палеоботаников, а затем и геологов) к изучению гумусовых углей, имеющих наибольшее промышленное значение, в то время как ранее исследователи занимались главным образом наиболее легко поддающейся микроскопическому изучению (по технике изготовления шлифов) группой сапропелевых углей (во Франции — Б. Рено, 1899 г., К. Бертран, 1905, и др.; в России — М. Д. Залесский, 1914 г., и др.).

На дальнейшее плодотворное изучение гумусовых углей решающее влияние оказала основополагающая работа английского палеоботаника и химика М. Стопс (Stopes, 1919). Ею в английских палеозойских каменных углях были выделены видимые простым глазом, физически отделимые друг от друга, характерные по микроскопическим признакам и различимые по химическим свойствам четыре основные составляющие — ингредиенты гумусовых углей: фюзен, нитрен, кларен и дюрен. Этим был открыт путь к всестороннему комплексному петрографическому, химическому, геологическому изучению гумусовых углей, чему способствовали совершенствование техники изготовления из них шлифов (англичанин Дж. Ломакс, 1911, 1922 гг.), а также введение метода микроскопического изучения углей в отраженном свете — аншлифах (Winter, 1913).



Л. И. Лутугин

В течение первых десятилетий XX в. существенный вклад в петрографическое изучение углей внесли: в Германии — В. Готан, 1910 г., О. Штуцер, 1923, 1932 гг., Е. Штах, 1928, 1930 гг.; в США — Р. Тиссен, 1913—1934 гг., Е. Джеффри, 1919—1925 гг. и др.

В России первые систематические углепетрографические исследования были начаты палеоботаником М. Д. Залесским. В мастерски написанном им в 1914 г. «Очерке по вопросу образования угля» охарактеризовано материнское вещество некоторых русских углей и горючих сланцев и условия их образования. В 1927 г. М. Д. Залесским в Геологическом комитете была организована первая в СССР углепетрографическая лаборатория, которую в 1930 г. возглавил Ю. А. Жемчужников. Им был создан первый коллектив советских углепетрографов (З. В. Ергольская, И. Э. Вальц, А. А. Любер, Е. С. Коржневская, А. И. Гинзбург, Л. И. Сарбеева, и др.). Этой школой были развиты и углублены представления М. Стопс и разработаны другие генетические направления микроскопического изучения и классификации углей, составляющих их микрокомпонентов, ингредиентов и типов. В Москве и других городах Союза были организованы углепетрографические ячейки, где работает ряд углепетрографов (С. Н. Наумова, А. Б. Травин, Л. И. Боголюбова и др.). Углепетрографические исследования в связи с решением ряда практических вопросов (обогащения, коксования, изготовления шихт и проч.) были развиты школой И. И. Аммосова (1946 г.). Работы этого направления получили большой размах во всех странах и развиваются по настоящее время.

Наряду с углепетрографическими исследованиями за рубежом и в СССР интенсивно ведутся и расширяются химические и технологические исследования углей в специализированных научно-исследовательских институтах. Они выделились в 30-х годах в значительной мере в самостоятельную отрасль изучения ископаемых углей, разрабатывающую вопросы обогащения,

коксования и другие направления переработки и использования углей с привлечением для решения их и углепетрографии.

Несмотря на достаточно длительное и всестороннее изучение вещественного состава и геологических условий залегания углей, причины вторичных их изменений и перехода торфа в бурый уголь, каменный уголь и антрацит остаются во многих отношениях не разгаданными, а рядом исследователей такой переход даже отрицается.

В Германии, где все наиболее метаморфизованные угли являются и наиболее древними, а бурые угли наиболее молодыми, естественно, причину изменения углей усматривали в их геологическом возрасте. Однако этому явно противоречит, например, наличие бурых углей каменноугольного возраста в Подмосковном бассейне и каменных углей в третичных отложениях Сахалина.

В США, где к началу XX в. была уже высоко развита угольная промышленность, у большинства геологов складывалось представление, что каменные угли и в особенности антрациты чаще встречаются в тектонически сложно простроенных районах. Еще в середине XIX в. Ч. Лайель (1845 г.), ссылаясь на изыскания американских геологов, отмечал, что потеря летучих веществ антрацитами находится в прямой связи со степенью нарушенности, которую испытывают пласты угля. Разломы пород, образование трещин и щелей, по их мнению, облегчали удаление из угля летучих веществ и переход его в антрацит. Однако эти представления оставались разрозненными не увязанными в какую-либо гипотезу.

В начале XX в. Д. Уайтом (White, 1915, 1925) на примерах Аппалачского и Пенсильванского бассейнов США была разработана стройная и на первый взгляд хорошо согласующаяся с наблюдениями концепция, получившая впоследствии название гипотезы динамометаморфизма углей. Сущность и аргументация ее состоят в том, что антрациты в Пенсильванском бассейне заключены в наиболее сильно тектонически нарушенных породах. По мере движения на запад, с упрощением тектоники, в Аппалачском бассейне распространены уже каменные угли, а в совершенно спокойно и горизонтально лежащих отложениях в западной части этого бассейна — одновозрастные бурые угли. Таким образом, динамическая напряженность, по мнению Уайта, способствовала удалению из углей летучих веществ; выделяемое при тектонических движениях тепло отодвигалось им на второй план.

Идеи о зависимости степени метаморфизма углей от сложности тектонического строения района, ведущая роль выделяемого при этом тепла как основного фактора метаморфизма углей, влияние трения, дробления, развальцовывания угля и другие разнообразные варианты динамометаморфических изменений углей завладели умами многих, если не большинства геологов.

В России Л. И. Лутугин (1913 г.) и Б. Ф. Мефферт также объясняли изменение углей Донецкого бассейна проявлением динамометаморфизма, Б. Ф. Мефферт (1915) и он же совместно с В. С. Крымом (1926) детально изучили закономерности изменения углей этого бассейна и впервые назвали их метаморфическими, считая, что они обусловлены: различием в исходном материале; степенью его разложения; условиями накопления; длительным периодом органических преобразований. Среди последних он различал две стадии: первую — до дислокации, когда пласты угля, находясь в почти горизонтальном залегании, подвергались статическому метаморфизму под влиянием трех факторов (времени, температуры и давления), обусловивших проявление правила Хильта, и вторую — период складчатой дислокации, осложненной сдвиго-сбросами, когда угли подвергались дальнейшему громадному, по мнению Мефферта, динамическому метаморфизму и достигали той стадии метаморфизма, которая фиксируется ныне.

В дальнейшем на основе нового геологического материала, полученного в ходе первых пятилеток, были пересмотрены и переоценены многие, ранее господствовавшие представления, в том числе и взгляды на причины метаморфизма углей.



Ю. А. Жемчужников

Забегая несколько вперед, нужно отметить, что идеи динамометаморфизма с теми или иными нюансами и вариантами в отношении времени проявления и температурного режима получили широкое распространение в мировой литературе, кроме советской и продолжали господствовать примерно до конца 50-х годов XX в. Частично они разделяются некоторыми авторами и в настоящее время.

Такие исследователи, как англичанин Ф. Троттер (1949, 1950 гг.) и Дж. Робертс (1954, 1955 гг.), индиец Дж. Далханти (1954, 1955 гг.), немецкие ученые К. Паттейский (1951—1956 гг.), В. Петрашек (1954, 1955 гг.) и другие считают, что тектоническое давление, напряжение сжатия и трение и образующаяся при этом теплота являются одним из основных факторов метаморфизма углей. Идеи динамометаморфизма разделялись и некоторыми крупными советскими геологами, например М. М. Тетяевым (1938 г.) и др.

К 30-м годам новый фактический материал, полученный по бассейнам Советского Союза, стал вступать в противоречие с концепцией динамометаморфизма. Это прежде всего было обнаружено в Донецком бассейне, изученном лучше других. Здесь было установлено, что наиболее спокойные в тектоническом отношении центральный и юго-восточный его районы заключают антрациты, к периферии же бассейна — на севере, где наблюдается мелкая интенсивная складчатость, закономерно падает степень метаморфизма углей до длиннопламенной стадии включительно.

Е. О. Погребицкий (1939), прослеживая изменения химического состава углей отдельных пластов Донецкого бассейна, установил, что метаморфизм углей зависит от стратиграфического положения и мощности отложений, т. е. от глубины погружения пластов угля при образовании угленосной толщи. Факторами метаморфизма углей, по его мнению, являлись давление и температура нормального геотермического поля. Составленная им карта зонального распространения углей бассейна отчетливо показала региональный характер метаморфизма, проявившегося до складчатости. Таким путем была установлена неприменимость концепции динамометаморфизма к Донецкому бассейну. Последующими исследованиями во всех бассейнах Советского Союза с мощными угленосными отложениями (Кузнецком, Карагандинском, Печорском и других) было выявлено отчетливое проявление регионального метаморфизма углей.

В Донецком бассейне на основе учета закономерностей регионального метаморфизма была составлена геолого-углехимическая карта Донецкого

бассейна (1936—1954 гг.), представляющая сводку и обобщение большого фактического материала по химии и геологии углей. Эти исследования позволили прогнозировать качество углей в любом пункте бассейна. Кроме того, они позволили разработать классификацию углей бассейна, основанную на учете физико-химических и технологических свойств и степени восстановленности углей, возникающей в процессе захоронения пластов угля (торфяников) в ископаемое состояние. Аналогичные карты составлялись затем и для других бассейнов СССР.

В распространении идей о региональном метаморфизме углей огромную роль сыграло учебное пособие Ю. А. Жемчужникова (1935), в котором были обобщены также основные достижения советской и зарубежной угольной геологии.

В результате изучения кливажа в углях и вмещающих породах Донецкого, Кузнецкого и Подмосковного бассейнов Г. А. Ивановым и Л. И. Сарбеевой (1939, 1940) были доказаны не только первичность регионального метаморфизма углей, протекающего до складчатости, но и зависимость последней (масштаба, степени крутизны складок и прочего) от предварительной степени метаморфической (эпигенетической) измененности угленосных отложений.

В последнее время в Донецком (М. Л. Левенштейн, 1962), в Кузнецком (В. И. Скок, 1963, 1965 гг.), Карагандинском (М. В. Голицын, 1966 г.), Рурском (К. Паттейский, М. Тейхмюллер, 1960 г.) и других геосинклинальных бассейнах было обнаружено увеличение степени метаморфизма углей на глубину от дневной поверхности, т. е. в современном структурном плане бо́льшая степень метаморфизма углей наблюдается в синклинальных и меньшая — в антиклинальных складках. Таким образом, было доказано продолжение процесса метаморфизма углей — вторая его фаза, протекающая после проявления складчатости. Вместе с этим было показано влияние времени, но не как геологического возраста, а как длительности процесса регионального метаморфизма, протекающего и при более низких температурах, чем испытали пласты угля при своем максимальном погружении до проявления складчатости.

За рубежом примерно до середины текущего столетия, как было указано выше, господствовали главным образом идеи динамометаморфизма углей. Это по меньшей мере странно, если учесть, что закономерности проявления регионального метаморфизма углей в Донецком бассейне, установленные в 30-х годах, были доложены Е. О. Погребицким в 1937 г. на XVII сессии Международного геологического конгресса в Москве и опубликованы в трудах конгресса (1939, т. I, стр. 445—460) [1].

Зарубежные ученые только в 50-х годах открыли явления регионального метаморфизма в бассейнах с мощными угленосными отложениями (Рурском, Аппалачском и других) и с этих позиций метаморфизм углей начинает освещаться в зарубежной литературе. Таким образом, к настоящему времени происходит сближение взглядов по вопросу о метаморфизме углей. Большинством геологов сейчас различаются, по существу, три основных типа метаморфизма углей: региональный, термальный и контактовый. С другой

[1] В работе М. и Р. Тейхмюллеров (M. и R. Teichmüller, 1966), посвященной обобщению результатов работ в основном по региональному метаморфизму углей и анализу его геологических причин, нет даже упоминания о результатах исследований, проведенных в этом направлении в 30-х годах советскими учеными, которые, несмотря на господствовавшие в то время идеи динамометаморфизма, впервые установили этот важнейший вид метаморфизма со всеми характерными для него закономерностями. Может показаться, что излагаемые М. и Р. Тейхмюллерами факты и идеи являются новыми и установлены ими в 50-х годах, в то время как в СССР еще в 30-х годах они вошли уже в учебные пособия (Жемчужников, 1935; Иванов, 1938).

стороны, не получено еще неопровержимых доказательств наличия в природе динамометаморфизма углей, к проявлению которого значительное число геологов относится скептически и к которому обычно прибегают при невозможности объяснить метаморфизм углей проявлением одного регионального метаморфизма.

В суждениях о факторах, участвующих в региональном метаморфизме углей, о роли температуры и ее интервалах, давлении, времени и прочих факторах наблюдаются еще значительные расхождения. При признании всеми температуры основным фактором называются существенно различные ее интервалы. Большинство исследователей склоняется к мнению о низкотемпературности этого процесса (300—350° при образовании антрацита) и его длительности при известной взаимозаменимости температуры и времени, и наконец, о независимости метаморфизма угля от тектонических (складчатых и разрывных) явлений.

Из сказанного следует, что за короткое время эксперимента получить из торфа каменные угли, аналогичные гамме регионально метаморфизованных углей, нельзя. Для этого необходимо длительное в геологическом смысле время. Применение высоких температур при эксперименте в известной мере может моделировать лишь процесс контактового метаморфизма углей, не требующего длительного времени.

Параллельно с изучением метаморфизма углей в последние 10—15 лет в основном в СССР были расширены петрографо-минералогические исследования вторичных эпигенетических (или катогенетических) изменений угленосных отложений, показавшие между ними определенную взаимосвязь (А. Г. Коссовская, Н. В. Логвиненко, В. Д. Шутов, 1957 г.; Г. В. Карпова, 1967 г.; и др.).

В 30-е годы в Советском Союзе большой размах получили литологические методы изучения угленосных отложений, которые в известной мере выделились в самостоятельную ветвь исследований — угольную литологию.

Основы ее были заложены еще в конце XIX в. при детальной геологической съемке Донецкого бассейна, где послойное описание разрезов и прослеживание маркирующих горизонтов по простиранию было, по существу, детальным литологическим картированием, позволяющим надежно решать вопросы стратиграфии, корреляции разрезов, синонимики угольных пластов и одновременно судить об условиях образования угленосных отложений.

Четко фиксируемая перемежаемость в разрезе континентальных (пласты угля) и морских (известняки) слоев позволила исследователям бассейна высказать суждение о периодической повторяемости в отложениях комплексов слоев, зависящей от осцилляции береговой линии под влиянием колебательных движений. Эти явления впоследствии получили название цикличности (или ритмичности); как видно, наличие и причина образования их были вскрыты в первых же детальных литологических исследованиях Донецкого бассейна (П. И. Степанов, 1910 г.; Б. Ф. Мефферт, 1915).

Явление циклической седиментации было установлено в бассейнах каменноугольного возраста США (Удден, 1912 г.) и разработано затем школой американских геологов, возглавляемой Д. М. Уэллером (Weller, 1930, 1931). Оно было зафиксировано в Рурском бассейне Ф. Кукуком (в 1920 г.) и в Франко-Бельгийском бассейне П. Прюво (Pruvost, 1935).

В СССР идеи циклической седиментации, по Уэллеру, подробно осветил Ю. А. Жемчужников (1935, 1946) в своих учебных монографиях, чем способствовал широкому их распространению и фиксации этого явления при литологических исследованиях во всех изучавшихся с этой точки зрения бассейнах и месторождениях. На этой основе разрабатывались специальные

методы фациаль -циклического (Ю. А. Жемчужников, В. С. Яблоков, Л. Н. Ботвинкина, П. П. Тимофеев и другие), фациально-геотектонического (Г. А. Иванов, 1956), фациального (Т. А. Ишина, В. В. Коперина и другие 1956 г.), фациально-фазового (А. Г. Кобилев, 1956 г.), конкреционного (А. В. Македонов, 1956 г.) и других видов анализа угленосных отложений. При этом устанавливалась ритмичность (цикличность) нескольких (до шести, а иногда и более) порядков и закономерное распределение в связи с нею угленосности в разрезах отложений (М. И. Ритенберг, 1962 г.; Н. В. Иванов, 1963 г.; Г. П. Дубарь, 1965 г.; А. В. Македонов, 1965 г., и другие).

Теоретически явление ритмичности (цикличности) обсуждалось Уэллером (1930—1935 гг.), П. Прюво (Pruvost, 1935), Ю. А. Жемчужниковым (1935—1962 гг.), Е. П. Брунс (1935—1948 гг.), Г. А. Ивановым (1946—1967), Л. Н. Ботвинкиной (1954—1963 гг.), П. П. Тимофеевым, А. П. Феофиловой (1949—1963 гг.), А. В. Македоновым (1947—1965 гг.) и другими. При трактовке причин ритмичности угленосных отложений и склонности большинства исследователей считать ее следствием проявления колебательных тектонических движений ряд авторов, следуя за Прюво, отрицает колебательный характер опускания областей осадко- и углеобразования, усматривая в этом опускании лишь приостановки в движении с последующими скачками. Имеются и другие точки зрения на причину ритмичности эвстатические колебания уровня мирового океана, связанные с колебаниями климата и изменением ложа океанического дна.

В большинстве стран явление ритмичности угленосных толщ было охарактеризовано главным образом с морфологической точки зрения и используется в различных методах геологического картирования, корреляции разрезов, синонимики пластов угля и проч.

В СССР теоретические основы геологии угля развиваются при все большем по объему и более глубоком использовании явления ритмичности разных порядков, при формационном анализе угленосных отложений и практическом использовании ритмичности для прогноза угленосности в качественном и количественном отношениях.

В 30-х годах П. И. Степанов (1939) выдвинул идею о поясах и узлах угленакопления и установил распределение запасов углей (приведенных к условному топливу) на всем земном шаре. По выделенным им этапам угленакопления он определил, что более 54% мировых запасов падает на палеоген-неогеновый этап, второе место занимает каменноугольно-пермский (39%) и третье — юрский и меловой (4%); остальные 3% сосредоточены в девонских и триасовых отложениях. Кроме того, им было установлено, что угольные месторождения каждого этапа (или эпох угленакопления) образуют пояса, в пределах которых выделяются узлы — сосредоточение угольных запасов, обязанное наиболее благоприятному сочетанию факторов углеобразования (климата, палеогеографической обстановки, геотектонического режима и проч.) . Идея поясов и узлов угленакопления практически была применена П. И. Степановым (1932 г.) при постановке проблемы Большого Донбасса, успешно решенной под его руководством коллективом геологов и геофизиков.

В дальнейшем идея поясов и узлов угленакопления разрабатывалась Лабораторией геологии угля АН СССР под руководством И. И. Горского и В. В. Мокринского и завершилась изданием «Атласа карт угленакопления и угленосных провинций» (1962) и объяснительной записки к ней. В картах обобщен большой фактический материал по угленосности, качеству углей и размещению их в выделенных провинциях. Организациями Министерства геологии СССР было предпринято, начиная с 1962 г., составление 12-томной монографии «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР».

Изучение закономерностей размещения ископаемых углей на территории СССР сопровождалось составлением прогнозных карт на уголь и подсчетом запасов угля. В результате все запасы угля в СССР составили 1654 млрд. *т*, или 21% мировых запасов, что выдвинуло СССР на второе место в мире.

По данным второго подсчета запасов ископаемых углей СССР, произведенного на 1955 г. (Н. В. Шабаров и А. В. Тыжнов, 1958 г.), общая сумма запасов выразилась в 8670 млрд. *т*, что составляет 52,5% мировых запасов. Таким образом по запасам СССР вышел на первое место в мире, а в 1958 г. СССР занял первое место в мире и по добыче угля.



П. И. Степанов

Сведения по геологии угольных бассейнов и месторождений мира обобщались в крупных сводных работах и учебных пособиях, среди которых следует назвать монографии А. Донненберга (1921, 1930, 1941 гг.), П. И. Степанова (1927 г.) и др. В последние годы подобная сводка была опубликована А. К. Матвеевым в отношении месторождений СССР (1960 г.) и части угольных месторождений зарубежных стран (1966 г.).

Примерно два последних десятилетия развития советской геологии совпадают с разработкой созданного Н. С. Шатским учения о геологических формациях. Поэтому в отличие от употребления зарубежными учеными понятия «формация» как термина свободного и широкого пользования (для обозначения толщ пород, стратиграфических подразделений и т. д.), в СССР в это понятие вкладывается иной, достаточно определенный и глубокий смысл. В частности, угленосные «формации» понимаются как зонально построенные геологические тела, сложенные закономерными парагенетическими комплексами пород (ритмами осадконакопления), обладающими рядом специфических особенностей состава и строения. Из сказанного следует, что представление о строении угленосных формаций и разработка учения о них преимущественно на геотектонической основе практически целиком являются достижением советской угольной геологии.

Наиболее существенный вклад в учение об угленосных формациях был сделан Г. А. Ивановым (1934—1967 гг.), Ю. А. Жемчужниковым (1955 г.), Г. Ф. Крашенинниковым (1952—1957 гг.) и А. В. Македоновым (1965 г.).

В 30-х годах Г. А. Иванов (1934—1939 гг.) предложил схему генетической классификации угленосных отложений и бассейнов, в основу которой был положен комплекс геотектонических и палеогеографических диагностических признаков, отражающих условия образования и последующие изменения угленосных отложений. Последние, по существу, были охарактеризованы как формации в современном их понимании. Были выделены три основные типа угленосных отложений: геосинклинальный, промежуточный и платформенный. Эта классификация получила широкое признание и в своей основе используется во всех последующих классификациях.

В дальнейшем классификация угленосных формаций значительно изменялась и дополнялась. В частности, на основе анализа большого материала по отечественным и зарубежным угольным бассейнам Г. Ф. Крашенинников (1957) предложил тектоническую классификацию угленосных формаций. Среди последних он различает только две группы: геосинклинальных и платформенных областей. По тектонической обстановке в геосинклинальных областях им выделены три типа формаций (внутренних весьма подвижных зон, краевых и внутренних стабилизированных зон и краевых и внутренних прогибов), в платформенных областях — два типа (формации подвижных и устойчивых платформ). Были сделаны и другие попытки классификации угленосных формаций (О. И. Пинчук, 1957 г., Е. О. Погребицкий, 1964 г. и др.). В наиболее важных типах угленосных формаций Г. А. Ивановым (1967) выделены зоны (собственно геосинклинальные, субгеосинклинальные, субплатформенные и др.), что позволяет по комплексу парагенетически связанных признаков осуществлять прогноз угленосности.

Разработка методики изучения угленосных формаций имеет большое научное и практическое значение. Она позволяет обоснованно производить выбор наиболее перспективных по угленосности участков, совершенствовать методику геологоразведочных работ, с учетом природных условий решать вопросы горно-технических условий разработки угольных месторождений (устойчивости пород, газоносности, геотермии и т. д.).

Сущность формационного анализа угленосных отложений заключается во всестороннем комплексном изучении геологических явлений и установлении между ними внутренней парагенетической взаимосвязи, взаимообусловленности и использования последней для наиболее вероятного решения поставленного вопроса. Так, для качественного и количественного прогноза угленосности на площади и на глубокие горизонты необходимо установить взаимосвязь между мощностью формации, наличием в ней определенной ритмичности (цикличности) различных порядков, фациального состава и строения, с одной стороны, и мощностью, протяженностью и строением пластов угля, с другой (Македонов, 1965; Иванов, 1967).

Разработка учения об угленосных формациях является одним из наиболее крупных достижений советской угольной геологии и относится к наиболее перспективным направлениям ее дальнейшего развития и совершенствования.

Кроме классификации угленосных формаций, зарубежными и советскими учеными было предложено много классификаций угольных бассейнов и месторождений.

В целом, учение о геологии угля находится в настоящее время на достаточно высоком уровне. Многочисленные факты и обобщения, полученные при детальном изучении литологии угленосных толщ, метаморфизма углей, тектоники шахтных полей и т. д. способствовали, особенно в СССР, развитию других отраслей геологических знаний. Так, угольная литология внесла большой вклад в общелитологические исследования, способствуя познанию самого процесса осадкообразования и явлений ритмичности разных порядков, выявляя одновременно и геотектоническую их сущность. Детальное изучение метаморфизма углей помогло уточнению эпигенеза вмещающих их пород. Изучение тектоники и микротектоники угольных шахтных полей позволило вскрыть механизм складчатых, разрывных и других нарушений и установить их зависимость от предварительной измененности пород, внеся, таким образом, известный вклад в общегеотектонические представления.

Установление взаимосвязи между всеми наблюдаемыми в угольных отложениях явлениями позволило геологам-угольщикам более глубоко разработать учение об угленосных формациях и дать их генетическую клас-

сификацию, используя комплекс парагенетически связанных признаков образования и изменения этих формаций.

Достижения геологии угля оказались возможными вследствие того, что здесь, как нигде при изучении других полезных ископаемых, производится массовое керновое бурение, сопровождаемое геофизическими исследованиями, а огромный объем шахтных горных работ позволяет на широком фронте наблюдать и увязывать между собой разнообразные геологические явления с очень большой детальностью.

ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Развитие геологии нефти и газа тесно связано с нефтяной и газовой промышленностью. По мере развития этой промышленности накапливалась информация, которая позволяла полнее познавать закономерности распределения нефти и газа в земной коре, что создавало предпосылки для выводов теоретического характера.

Хотя официально началом рождения нефтяной промышленности считается 1859 г. (дата бурения первой скважины в США), практически эта отрасль стала развиваться лишь в XX в. В 1899 г. в мире было добыто 18,1 млн. *т* нефти, а за первые 40 лет существования нефтяной промышленности из недр было извлечено 220 млн. *т*. При этом нефть добывалась на территориях 12 стран (в современных границах). В 1968 г. в мире было добыто 1920 млн. *т* нефти, а с 1900 по 1968 г. включительно — 28 751 млн. *т* на территориях и акваториях 62 стран.

Добычу природного газа для промышленных целей начали производить лишь в XX в. В 1968 г. его было добыто 1033 млрд. $м^3$, а за все время не менее 9000 млрд. $м^3$.

С самого начала развития геологии нефти и газа в ней определились два основных направления исследований: происхождение нефти и формирование ее залежей (а впоследствии и происхождение углеводородных газов); условия залегания и закономерности распространения нефти и газа. В последующем к ним прибавились еще два направления: методика оценки перспектив нефтегазоносности и поисков залежей нефти и газа; нефтегазопромысловая геология.

А. Я. Кремс (1964) считает, что есть еще одно направление — нефтешахтная геология. Нам представляется, что исследования в этой области находятся в начальной стадии и ни по объему, ни по значению не сформировались еще в самостоятельное направление.

Происхождение нефти и углеводородных газов и формирование их залежей. Проблема происхождения нефти интересовала геологов и других естествоиспытателей еще в XVIII и XIX вв. Свои соображения по поводу этой проблемы высказывали такие ученые, как М. В. Ломоносов, А. Гумбольдт и Д. И. Менделеев. Однако наибольший прогресс в ее решении достигнут именно в XX в.

С самого начала наметились две противоположные точки зрения. Одни исследователи считали, что нефть образуется путем абиогенного синтеза углеводородов [1], по мнению других, нефть и углеводородные газы являются продуктом преобразования биогенных веществ, захороняемых в осадках.

[1] Так называемое неорганическое происхождение нефти. Как отметил М. В. Абрамович, подобное название принципиально неправильно, поскольку нефть представляет собою комплекс органических веществ, и, следовательно, не может быть неорганическим веществом. Этот термин неудобен потому, что в основу его применения положены два признака, которые иногда (но не всегда) связаны: химический состав и отношение к органическому миру.

Временами разгоралась борьба между представителями этих взглядов, однако в периоды ее затишья, как правило, господствовала точка зрения о биогенной природе нефти и углеводородных газов.

В начале века существовали различные представления об исходных органических веществах для образования нефти. По мнению одной группы исследователей, нефть могла образоваться только за счет животных организмов (Гёфер, 1908; Engler, 1900, и др.), по мнению другой, — из остатков растительного организма (Крэг, 1923; и др.). Наконец, третья группа исследователей считала, что исходное вещество имеет смешанное растительно-животное происхождение.

Г. П. Михайловский (1906) на основании исследований, проведенных им в Черных горах на Северном Кавказе, высказал предположение, что нефть является результатом преобразования рассеянного органического вещества растительного и животного происхождения, попадающего в осадки. Этот вывод через 20 лет был подтвержден интересными комплексными исследованиями А. Д. Архангельского (1927а, б), изучившего осадочные породы Терско-Сунженской нефтегазоносной области и современные осадки Черного моря.

Подобные исследования в более широком масштабе проводились П. Д. Траском с 1926 по 1931 г. (Trask, 1932). Его результаты оказались несколько неожиданными, так как не удалось обнаружить современного нефтеобразования (что, как выявилось только через 30 лет, явилось следствием несовершенства методики анализов) и установить признаки нефтепроизводящих свит. Однако в процессе исследований было получено много данных об органическом веществе осадков, о связи его распределения с гранулометрическим составом и т. д.

В. И. Вернадский, рассматривая нефти, как и другие вещества земной коры, в геохимическом аспекте, приходит к выводу о том, что генезис нефти «имеет начало в биосфере».

Большое значение для однозначного решения вопроса о биогенной природе нефти имело открытие А. Трайбсом (Treibs, 1934) в нефтях, углях и битуминозных породах порфиринов, являющихся производным биогенных пигментов и, в первую очередь, хлорофилла.

П. Траском с сотрудниками были подвергнуты детальному изучению возможные нефтематеринские породы различных регионов США. Это позволило установить ряд признаков для этих пород и определить, что на нефтеобразование расходуется не более 10% органического вещества, содержащегося в породах.

Следующим событием, подтвердившим правильность предположения о биогенном происхождении нефти, было открытие углеводородов в современных осадках. Надо отметить, что вначале оно не привлекало внимания исследователей. Так, в частности, Т. Л. Гинзбург-Карагичева с соавторами (1934), исследовав современные илы Черного моря, отмечала: «Битуминозные вещества из исследованных нами илов отличаются малым содержанием кислородных соединений и состоят, очевидно, преимущественно из углеводородов» (стр. 515). В заключение она уже более определенно пишет: «Констатировано в органическом веществе глубоководных илов Черного моря битуминозных веществ углеводородного характера в количестве до 10% от общего содержания органических веществ (по углероду)» (там же, стр. 520).

Позже углеводороды в современных осадках были открыты в водоемах Таманского полуострова и составляли от 0,06 до 0,67% (в среднем от 0,08 — до 0,21%) органического вещества илов.

Заметное влияние на решение проблемы происхождения нефти оказало открытие углеводородов в современных осадках Мексиканского залива.

Применение самых новейших методов анализа (хроматографического, масспектрометического и др.) позволило не только дифференцировать эти углеводороды на группы, но и доказать их современный возраст (Smith, 1954).

Параллельно с химическими и геохимическим исследованиями проблема происхождения нефти решалась и в чисто геологическом плане — путем обобщения всех данных по нефтегазоносности недр. Характерно, что подавляющее большинство исследователей, занимавшихся широкими обобщениями по геологии нефтегазоносных областей, приходили к выводам о биогенном происхождении нефти, хотя и не всегда были единодушны в частных вопросах этой проблемы.



И. М. Губкин

Как отмечалось, по мнению одних исследователей, нефть образовалась из остатков живых организмов, другие доказывали растительный характер исходного вещества. В работах К. П. Калицкого (1921, 1944) утверждалось, что нефть образовалась за счет разложения водной растительности — зостера.

Однако, начиная с 20-х годов XX столетия, все исследователи приходят к единодушному мнению о смешанном характере исходного органического вещества и его рассеянном состоянии в нефтематеринских осадках.

Особенно четко это было выражено в обобщающей работе И. М. Губкина (1932). В ней были сформулированы также основные требования, которым должна удовлетворять любая гипотеза образования нефти и задачи дальнейших исследований в этом направлении.

Авторы всех последующих сводных работ по геологии нефти (как советские, так и зарубежные) в основном придерживаются сформулированной И. М. Губкиным гипотезы органического происхождения нефти (Еременко, 1961; Леворсен, 1958).

В дальнейшем гипотеза органического происхождения нефти развивалась на основе исследований, производимых в двух направлениях: изучение органического вещества современных осадков; изучение органического вещества осадочных пород, нефтей и природных газов, развитых в пределах различных нефтегазоносных областей мира.

Работы первого направления позволили установить накопление битумов и углеводородов в осадках различных водоемов от пресноводных до океанических (Вебер, 1956).

В результате исследований органического вещества горных пород и нефтей были выявлены стадии перехода первых во вторые, через микронефть.

Особенно широко стало проводиться изучение битумов в горных породах благодаря применению люминесцентного анализа. За сравнительно короткое время было изучено распределение битумов в разрезах пород многих нефтегазоносных бассейнов, что позволяло выявить закономерности распределения

битумов, содержащихся в отдельных стратиграфических комплексах, и установить признаки первичной миграции нефти (Неручев, 1962).

С другой стороны, происходило постепенное углубление исследований органического вещества горных пород: изучалось общее распределение содержания органического вещества и битумов в нем, затем компонентный состав битумов, потом углеводородный состав, распределение индивидуальных углеводородов и изотопный состав отдельных элементов углерода, водорода и серы (Еременко, 1961; Thode a. o., 1958).

В таком же направлении изменялась методика анализа нефтей, благодаря чему открылись возможности для сопоставления особенностей состава нефтей с составом рассеянного органического вещества осадочных горных пород. В результате было найдено много общего между нефтями и органическим веществом осадочных пород, вплоть до наличия там и здесь индивидуальных углеводородов (фитана, пристана и других), соотношения четных и нечетных углеводородов, изотопного состава отдельных элементов и т. д. Результаты исследований, проведенных по многим нефтегазоносным областям мира, показали определенную закономерную связь между рассеянным органическим веществом в породах и нефтью в залежах (Родионова, 1967). Не имея возможности остановиться на всех основных работах, доказывающих органическое происхождение нефти, мы отсылаем читателя к сводке Н. Б. Вассоевича (1967). Параллельное изучение распределения рассеянных углеводородов и нефтей в пределах отдельных бассейнов позволило установить, что в залежах концентрируется до 10% общего количества углеводородов, содержащихся в породах.

Таким образом, к 60-м годам XX в. был решен вопрос о том, что в осадочных породах на всех стадиях их развития от седиментогенеза до катагенеза включительно образуются углеводороды и другие органические соединения, сходные с таковыми соединениями нефти и углеводородных газов.

Источником этих веществ было рассеянное органическое вещество, захороняемое в осадках в самых различных водных бассейнах. Н. Б. Вассоевич (1967) считает, что комплекс имеющихся в настоящее время данных позволяет создать теорию осадочно-миграционного происхождения нефти.

Анализируя историю развития этой теории в XX в. нельзя не заметить три ее особенности. Во-первых, по мере расширения исследований становилось очевидным, что нефтегазообразование не является каким-то редким экстраординарным процессом, для развития которого требуются особые условия (например, массовая гибель организмов, сероводородное заражение и т. д.), как это представлялось до середины 30-х годов, а процессом, развивающимся почти во всех структурных впадинах, выполненных достаточно мощной толщей осадков субаквального происхождения. Во-вторых, по мере углубления анализов и применения все более тонких методов исследований накапливалось все больше данных об органическом происхождении нефти и углеводородных газов. Так, если в начале XX в. эти представления основывались лишь на общегеологических данных и данных о валовом составе нефти, то затем в нефтях были найдены отдельные соединения биогенной природы (порфиринов и др.). Это было подтверждено данными о групповом составе, затем структурно-групповом составе углеводородов нефти и в последнее время — данными об изотопном составе отдельных элементов (углерода и серы), содержащихся в нефтях.

В последние годы информация о химизме органического вещества, содержащегося в породах и нефтях, стала настолько многочисленной и многогранной, что эта область исследований выделилась в самостоятельную ветвь науки — органическую геохимию, или геохимию нефти и газа (Hobson and Colombo, 1967; Карцев, 1969).

Несколько по-иному развивались представления о неорганическом происхождении нефти. После того как в XVIII в. Д. И. Менделеевым и В. Д. Соколовым были предложены «минеральная» и «космическая» гипотезы происхождения нефти, в первой половине XX в. отдельными исследователями на основании проведенных экспериментов были предложены различные варианты этих гипотез. Так, например, некоторые из них развивали «карбидную гипотезу» Д. И. Менделеева, приводя в качестве аргументов результаты лабораторных опытов, а также некоторые геологические соображения, другие значительно позднее доказывали космическое происхождение нефти. Примерно до 30-х годов стали появляться иные предположения о происхождении нефти. Так, в частности, Ю. Кост в 1905—1914 гг. доказывал вулканическое происхождение нефти, аргументируя это в основном наличием нефти во всей толще осадочных пород, развитием в нефтегазоносных районах сверхнормальных пластовых давлений, высокотемпературных вод, грязевых вулканов, а также и соли в соляных куполах, которая по мнению Ю. Коста, также вулканогенная. Ю. Кост утверждал, что основным фактором, влияющим на распределение месторождений нефти, являются сбросы и трещины, которые сопровождают любые дислокации.

«Теория» Ю. Коста была предметом дискуссии, состоявшейся в Американском институте горных инженеров, на которой ее раскритиковал Г. Гёфер. Несколько позже Э. О. Штебер (1924) предложил гипотезу, согласно которой нефть образуется из «продуктов эманации Земли» в жерлах вулканоидов.

Примерно в эти же годы было предложено еще несколько «гипотез» неорганического происхождения нефти: К. Уошбэрн — путем синтеза из «магматических эманаций», У. Рамзей — путем синтеза в присутствии катализаторов, следы которых имеются в нефти (никель, медь и другие металлы) и которые имеют глубинное происхождение.

Затем в течение примерно полутора десятков лет в нефтяной геологии было «затишье» и органическое происхождение нефти ни у кого не вызывало сомнений. Это «затишье» было нарушено в 1939 г. Е. М. Мак-Дермотом, который, обобщая геофизические данные по ряду регионов США, вновь выдвинул предположение о том, что залежи нефти и газа формируются из поднимающихся с больших глубин углеводородных газов. Последние произошли либо при метаморфизме угля, либо в результате неорганического синтеза в породах кристаллического фундамента. Статья Мак-Дермота вызвала дискуссию в Американской Ассоциации нефтяных геологов, на которой все же была признана необоснованность доводов, приводимых Мак-Дермотом.

Затем вновь наступил период относительного «затишья», когда все или почти все геологи считали, что нефть имеет органическое происхождение, и в литературе не появлялось работ, авторы которых защищали бы неорганическое происхождение нефти, за исключением В. К. Ван-Орстанда.

С 1951 г. начался новый этап в возрождении различных «гипотез» неорганического происхождения нефти (Кудрявцев, 1951). С этого времени до 1969 г. было предложено 19 вариантов, которые можно объединить в следующие группы:

1) нефть образуется путем синтеза в магме или при ее остывании (Кудрявцев, 1951);

2) нефть образуется из углеводородов, находящихся в твердой перидотитовой оболочке и поднимающихся из нее «в процессе эманациональной дифференциации»;

3) углеводороды синтезируются в мантии земли (Кудрявцев, 1963 и др.). При этом, по мнению В. Б. Порфирьева, в верхнюю часть земной коры

углеводороды поступали за всю историю земли только один раз — в третичный период;

4) углеводороды нефти попали в недра Земли еще из протопланетного облака, и сейчас они поступают в верхние части земной коры и на ее поверхность в процессе дифференциации вещества;

5) нефть образуется в метаморфических толщах в результате химических или электрохимических процессов.

Авторы почти всех перечисленных гипотез считают, что нефть поступает в залежи по глубинным разломам, к которым часто приурочиваются грязевые вулканы.

Указанные предположения обычно обосновываются теми же аргументами, которые приводили Д. И. Менделеев, В. Д. Соколов и другие в прошлом столетии или Ю. Кост в начале этого столетия (распределение нефти по всему осадочному чехлу, вулканогенный характер соляных тел и т. д.). Новыми были лишь предположения об «океанах нефти» на Венере, наличии «живого потока углеводородов в породах фундамента Волго-Уральской области», факты наличия битумов и углеводородных газов в кимберлитовых трубках взрыва и т. д.

Все эти предположения обсуждались на двух дискуссиях, проходивших в Москве в 1958 и в 1969 гг., на которых было показано, что в свете современных данных ни новые, ни старые аргументы в пользу неорганического происхождения нефти нельзя считать обоснованными, а многие из них вообще не подтвердились («океаны нефти» на Венере, наличие углеводородов в породах фундамента Волго-Уральской области и т. д.). И хотя потенциальная возможность неорганического синтеза углеводородов в верхней части земной коры всеми допускается, анализ современных геологических и геохимических данных позволил прийти к выводу, что нефть, заключенная в залежах, не может иметь неорганическое происхождение (Калинко, 1968).

В течение XX в. неоднократно менялись представления о миграции и аккумуляции нефти и газа в недрах. В начале века существовало мнение о том, что некоторые залежи представляют первичные концентрации органического вещества, которые связаны с массовой гибелью животных организмов (Гёфер, 1908). Такой же точки зрения придерживался позднее К. П. Калицкий (1921, 1944). Ряд ученых периодически высказывал предположения о том, что значительные скопления органического вещества, преобразуясь могут дать залежи нефтей или битумов без их миграции. Однако большинство исследователей считало, что залежи нефти образуются в результате ее миграции, которая протекает в две стадии: вначале происходит миграция углеводородов из производящих (плохопроницаемых) пород в коллекторы — первичная миграция, затем — движение нефти и газа по коллектору — вторичная миграция.

Много дискуссий вызывала и вызывает в настоящее время возможность первичной миграции углеводородов из глинистых пород в песчаные. Впервые предположение об этом было высказано М. Мэнном (Munn, 1909), а затем разделялось многими исследователями на протяжении почти 60 лет. Однако после экспериментальных работ В. Д. Ломтадзе (1957), показавших, что выжимания нефти из глинистых пород при их уплотнении не происходит, возможность первичной миграции под влиянием гравитационного и тектонического уплотнения была поставлена под сомнение.

Открытие ретроградной конденсации углеводородов позволило предположить, что первичная миграция углеводородов происходит в газовой фазе (Капелюшников и др., 1952). Проведенные большие экспериментальные исследования показали, что газы, проходящие через глинистые породы под

давлением, могут в растворенном состоянии перемещать различные компоненты битумов (Гербер, Двали, 1961).

Было высказано также предположение о том, что эмиграция нефти как гидрофобного вещества из глинистых пород в водонасыщенные песчаные происходит под влиянием капиллярных сил (Munn, 1909; Mrazek, 1910).

Была высказана и гипотеза о перенесении углеводородов из материнских осадков в коллекторы в водно-растворенном состоянии.

Во всяком случае, в настоящее время весь комплекс геологических данных свидетельствует, что первичная миграция нефти существует, хотя физическая природа этого явления не совсем ясна.

Аналогично этому менялись представления о вторичной миграции и аккумуляции, т. е. движении нефти и газа по проницаемым пластам. В начале столетия, после того как во многих регионах была подтверждена «антиклинальная теория», считалось, что вторичная миграция нефти и газа и их аккумуляция в залежи происходит благодаря разности плотностей и силам поверхностного натяжения (Крэг, 1923; Блюмер, 1929; и др.). Однако уже М. Мэнн считал, что одних гравитационных сил недостаточно для миграции нефти по пласту и движение ее происходит в потоке отжимающихся седиментационных вод (Munn, 1909).

В последующем в ходе экспериментальных исследований и других работ возникли сомнения в возможности движения капелек нефти по коллектору. Был высказан ряд предположений о возможном физическом состоянии углеводородов во время миграции: 1) жидком (Савченко, 1958; Козлов, 1959; и др.); 2) газообразном; 3) в виде ретроградного газонефтяного раствора, в свою очередь, растворенного в пластовой воде (Бурштар и др., 1963).

Надо отметить, что специальными исследованиями и экспериментами так и не удалось решить, какая же из этих форм миграции имеет место (Van Tuyl, 1926; Проблемы образования нефтяных залежей..., 1938).

В 1954 г. одновременно в СССР и в США была выдвинута гипотеза дифференциального улавливания, согласно которой при региональной миграции по проницаемым пластам происходит последовательное заполнение ловушек: первые ловушки, расположенные на путях миграции, заполняются газом; следующие — легкой нефтью; находящиеся еще дальше — окисленной нефтью и в конце — водой (Гассоу, 1961).

Позже выяснилось, что этот принцип не универсален, существует много отклонений от него. Однако во многих регионах на распределение залежей, действительно, влияло дифференциальное улавливание (Максимов, 1964).

В XX в. была в основном решена еще одна проблема, привлекавшая внимание исследователей в древнейшие времена особенно с XVIII в.— проблема происхождения грязевых вулканов, решение которой происходило последовательно.

В начале века господствовало представление о том, что действие грязевых вулканов обусловлено давлением газов, которые ряд исследователей относили к вулканическим (Штебер и др.). В период с 20-х до 40-х годов считалось, что грязевые вулканы генетически связаны с диапировыми структурами, к которым приурочены залежи нефти.

В начале 30-х годов были обобщены материалы по всем грязевым вулканам зарубежных стран (Куглер, 1934), а в СССР проведены комплексные исследования грязевых вулканов Кавказа (Губкин и др., 1938). В результате было установлено, что наличие грязевых вулканов является одним из показателей нефтегазоносности недр, и в то же время подтвержден вывод о приуроченности грязевых вулканов к диапировым или криптодиапировым складкам.

Однако в дальнейшем при обобщении материалов по грязевым вулканам Азербайджана и Туркмении вывод о приуроченности к диапировым и криптодиапировым складкам не подтвердился, и ряд исследователей считал, что обязательным условием развития грязевых вулканов является наличие залежей нефти и газа, а также разрывных нарушений (Якубов, 1948).

Правда, некоторые исследователи продолжали связывать грязевые вулканы с процессами магматизма (Ковалевский, 1940).

В начале 60-х годов были подмечены закономерности в распространении грязевых вулканов: приуроченность их к тем участкам альпийского складчатого пояса, которые характеризуются современными контрастными тектоническими движениями и, вероятно поэтому, наличием газоносных горизонтов со сверхнормальными пластовыми давлениями (Калинко, 1964).

Условия залегания и закономерности распространения нефти и газа. По мере расширения поисково-разведочных работ выявилось разнообразие условий залегания и определились основные закономерности распределения нефти и газа в земной коре.

К началу XX в. было установлено, что нефтяные месторождения встречаются не в одиночку, а распространены зонально. Среди этих зон, или как их называли линий, намечалось три типа: 1) связанные с антиклинальными складками, обычно располагающимися линейно; 2) с моноклинальным залеганием пластов, вдоль их простирания и 3) вдоль зон разломов или зон трещиноватости (Гёфер, 1908).

К концу 20-х годов стало очевидным, что существует большое разнообразие структурных форм, к которым приурочены нефтяные месторождения. Уже в начале этого десятилетия были выявлены литологические залежи. Так, в 1911 г. И. М. Губкин в Майкопском районе установил рукавообразные залежи нефти, приуроченные к линзам песков, залегающих среди глин и выполняющих русла древних рек (Губкин, 1913). Впоследствии было доказано, что эти линзы песков связаны с отложениями заливов и бухт (Маслов, 1968).

Уже к 20-м годам в других странах были выявлены залежи нефти, связанные с литологическими и стратиграфическими ловушками. Однако лишь после того, как было установлено широкое распространение литологических и стратиграфических ловушек, они стали объектами специальных поисков и исследований (Levorsen, 1936; Леворсен, 1938). Оказалось, что в США такие залежи распространены довольно широко.

В 1938—1939 гг. В. А. Гориным у подошвы продуктивной толщи Азербайджана была выделена калинская свита, развитая неповсеместно. Обобщение материалов позволило В. А. Горину (1940) и М. Ф. Мирчинку (1941) поставить вопрос о поисках стратиграфических залежей нефти на Апшеронском полуострове и во всем восточном Азербайджане. М. Ф. Мирчинк (1941, стр. 3) писал, что открытие стратиграфических залежей знаменует «новый этап в развитии нефтяной геологической науки».

В течение первых двух десятилетий XX в. считалось, что основная часть нефти заключена в межгранулярных песчаных коллекторах: с 1907 г. по 1930 г. из них добывалось 90% всей нефти (Блюмер, 1929). Хотя о влиянии трещиноватости и кавернозности на нефтеносность пород было известно еще до начала XX в., все же им не придавали должного значения. В некоторых странах, например в Иране, были открыты залежи нефти в трещиноватых и кавернозных породах, однако это обстоятельство не было принято во внимание исследователями.

В СССР внимание к трещиноватым породам как к коллекторам нефти впервые было привлечено в 1941—1943 гг., когда были открыты нефтяные месторождения Карлы и Кинзебулатов в Башкирии, в которых залежи

приурочены к трещиноватым мергелям и известнякам пермского возраста (Трофимук, 1957). Материала по трещинным коллекторам накопилось столько, что в конце 1952 г. Американская Ассоциация нефтяных геологов провела специальный симпозиум, посвященный этой проблеме.

В 1956 г. на Северном Кавказе было открыто крупное месторождение нефти—Карабулак-Ачалукское, в котором нефть приурочена к трещиноватым известнякам верхнего мела.

С 1954 г. трещиноватые коллекторы становятся предметом специальных исследований (Трещиноватые породы..., 1958). Этой проблеме были посвящены всесоюзные совещания (в 1960, 1962, 1965 гг.).

В настоящее время из трещиноватых карбонатных пород добывается 40% нефти, извлекаемой в мире.

Существенно менялись представления и о региональном распространении залежей нефти и газа. В начале XX в. считалось, что любая осадочная порода, в которой захоронялись организмы, может быть нефтеносной. Потенциально нефтеносными могут быть различные осадочные, магматические и метаморфические образования, расположенные вблизи таких материнских пород (Гёфер, 1908).

Несколько позже был сделан вывод, что нефтеносные районы расположены «на крыльях или склонах как отдельных центров, так и зон крупных поднятий земной коры», т. е. находятся в складчатых областях, прилегающих к центрам или зонам дислокации земной коры.

Д. Уайт установил связь между степенью метаморфизма углей и наличием залежей нефти или газа (White, 1915).

К. И. Богданович (1921) сделал довольно широкие обобщения: месторождения нефти и битумов находятся среди осадочных пород; в центральных частях горных систем их нет; лагунные условия благоприятны для накопления исходного органического вещества; благоприятны также переходы к битуминозным углям и богхэдам, что свидетельствует о единстве первичного материала; в породах, содержащих залежи нефти, нет следов метаморфизма; сбросы относятся к отрицательным факторам; нет данных, указывающих на первичность месторождений нефти.

Р. Зубер, обобщив данные по всем нефтегазоносным областям мира, пришел к заключению, что везде нефть связана с отложениями флиша (Zuber, 1918). Ошибочность этого представления выявилась сразу уже к началу 20-х годов, когда стало очевидным, что нефтеносные отложения имеют региональное распространение, при этом нефтеносные толщи повторяются в разрезе. Были сделаны выводы о том, что, во-первых, «все современные крупные нефтеносные районы расположены в областях древних мелководных морей; во-вторых, «эти древние заливы и моря были вместе с теми геосинклиналями [1], т. е. морскими бассейнами, в которых в продолжении целых эпох происходило отложение осадков и накопление их значительными толщами, при одновременном опускании морского дна» (Блюмер, 1929, стр. 276—277); в-третьих, в несимметричных горных системах нефтяные месторождения встречаются на пологих склонах этих систем: в-четвертых, нефтяные месторождения имеют место как в платформенных, так и в складчатых отложениях; в-пятых, в складчатых областях нефтяные залежи приурочены только к третичным осадкам (ввиду того, что более древние отложения были сильно дислоцированы и денудированы и залежи в них не могли сохраниться), а в платформенных областях — к палеозойским осадкам (в 1912 г. из тре-

[1] Термин «геосинклиналь» многие авторы употребляют не в том понимании, которое дал ему Э. Ог и которое принято всеми сейчас. Начиная с Дэна этим термином обозначают любой прогиб земной коры, характеризующийся накоплением мощных толщ осадков.

тичных отложений добывалось 58% нефти, из палеозойских — 34%, а из мезозойских — всего 8% нефти.)

Обобщение материалов по известным нефтегазоносным областям позволило Делоне сделать вывод о том, что нефтяные месторождения располагаются в окраинных зонах основных складчатых областей земного шара.

Все данные по закономерностям распределения месторождений обобщил в начале 30-х годов И. М. Губкин (1932), который сформулировал «закон распределения нефтяных месторождений», согласно которому нефтяные месторождения располагаются «в окраинных зонах горных цепей и на их погружениях» (стр. 208) и в платформенных территориях «в областях развития геосинклиналей» [1] (там же, стр. 211). Нефтяные месторождения отсутствуют в центральных частях горных систем, где развиты магматические и метаморфические породы.

В 30—40-х годах многими исследователями предпринимаются попытки выявить закономерности распределения нефти и газа и определить общее количество этих ископаемых во всем мире (Крейчи-Граф, 1934, и др.).

В 1944 г. У. Пратт, а в 1947 г. И. О. Брод пришли к выводу, что в мире есть «два полюса нефтегазонакопления», вблизи которых находится большая часть запасов нефти и газа: один — в районе Мексиканского залива и Карибского моря, другой — в районе Персидского залива и Каспийского моря (Pratt, 1944).

Однако уже через несколько лет стала очевидной ошибочность этой точки зрения — крупнейшие зоны нефтегазонакопления были открыты в Волго-Уральской области, Западной Сибири, Северной и Западной Африке и Австралии. Если же добавить сюда гигантские скопления битумов, измеряемые единицами и десятками миллиардов тонн, расположенные на р. Атабаска в Канаде, на о. Мелвилл Канадского Арктического архипелага, на р. Оленёк в Сибири и т. д., то станет очевидным, что никаких «полюсов» нефтенакопления не существует.

В 1947 г. Л. Г. Уикс пришел к выводу, что крупные нефтяные месторождения расположены в пределах глубоких осадочных бассейнов, представляющих крупные подвижные сегменты земной коры. Выделив такие бассейны, Л. Г. Уикс подсчитал, что их суммарная площадь достигает 15 млн. кв. миль, а объем 20 млн. куб. миль. На основе этого метода Л. Г. Уикс в последующие годы (вплоть до 1963 г. включительно) оценивает запасы нефти в мире, постепенно увеличивая их с 84 млрд. *т* в 1948 г. до 276 млрд. *т* в 1963 г. Общее количество углеводородных газов в газовых, газоконденсатных залежах, в газовых шапках и растворенных в нефти Л. Г. Уикс определяет в 110—170 трл. $м^3$. Надо отметить, что Ж. Жестер в 1944 г. оценил мировые запасы нефти в 51—61 млрд. баррелей.

Закономерности распространения нефти и газа в разных тектонических условиях были обобщены в руководствах К. К. Ландеса.

С начала 1900-х гг. исследователи разных стран периодически обобщали материалы по нефтегазоносности крупных геоструктурных элементов, отдельных континентов, частей света и всего мира (Beeby-Thomson, 1904; Бакиров, 1957, 1959; Успенская, 1952; Verwiebe, 1930; Нефтегазоносные бассейны земного шара, 1965).

Наиболее полная сводка об условиях залегания нефти и газа была опубликована А. И. Леворсеном в 1954 г. (русское издание, 1958 г.). Надо отметить, что в ней, по существу, был подытожен опыт, накопленный в нефтегазовой геологии за прошедшее время ее развития. Именно этим объясняется, что это руководство было переиздано в США через 13 лет.

---

[1] См. ранее примечание о термине «геосинклиналь».

В результате обобщения данных о распределении залежей нефти и газа во всех известных нефтегазоносных областях мира удалось установить, во-первых, что все структурные впадины, выполненные неметаморфизованными осадочными породами, могут быть нефтегазоносными, во-вторых, внутри этих впадин распределение месторождений и залежей подчиняется определенным закономерностям. Одной из них является обязательное наличие месторождений нефти и газа в центральных, наиболее погруженных частях впадин. Сделанные на основании этих закономерностей прогнозы для центральных частей ряда впадин (Западно-Сибирской, Тимано-Печорской, Аляскинской и других) впоследствии подтвердились, что свидетельствует об объективном существовании данных закономерностей. Был сделан также вывод о том, что наличие залежей нефти и газа на шельфах — одно из проявлений указанных закономерностей. Одновременно проводились работы по выяснению причин, управляющих этими закономерностями. Поскольку геологическое развитие любого участка земной коры зависит от тектонических движений, исследования направлялись на изучение тектоники нефтегазоносных областей (Косыгин, 1952; Кремс, 1954; Хаин, 1954; и др.).

Дальнейшие исследования в нефтегазоносной геологии были направлены на выяснение основных геологических факторов, обусловливающих наблюдаемое распределение залежей нефти и газа в земной коре.

Так, И. О. Брод считал, что нефтегазонакопление обусловливается главным образом масштабом и длительностью погружения рассматриваемого участка земной коры, а также степенью захоронения возникающих залежей. Это положение было разработано им более детально с дифференциацией для залежей различного типа, а в 1964 г. создано учение о нефтегазоносных бассейнах (Брод, 1964). Теоретические основы геологии нефти и газа обобщены в различных монографиях, учебных пособиях и учебниках (Бакиров и др., 1968; Еременко, 1961, и др.). Синтез всех материалов о происхождении нефти и углеводородных газов в условиях двух параллельно идущих процессов аккумуляции и рассеивания этих ископаемых позволил не только определить их потенциальные запасы в земной коре и выявить относительное распределение по группам отложений и структурным впадинам, но и установить причины такого распределения. Это дало возможность подсчитать общее количество углеводородов, содержащихся как в залежах, так и в рассеянном состоянии (Калинко, 1964).

Необходимо отметить, что анализ закономерностей распределения нефти и газа в земной коре и оценка общего количества углеводородов стали возможными благодаря значительному прогрессу, достигнутому в других отраслях геологии и, в первую очередь, в геотектонике.

Рассматривая развитие представлений о закономерностях распределения нефти и газа в земной коре, нельзя не остановиться на распределении этих ископаемых под дном различных акваторий. Еще в конце прошлого века в процессе поисков и разведки нефти и газа в прибрежных частях суши было установлено, что многие месторождения продолжаются и под водами смежных бассейнов. Эти месторождения стали разрабатываться в ряде стран (в России, Японии, США, Канаде). Однако в течение долгого времени вопрос о наличии залежей нефти и газа под дном водных бассейнов не привлекал к себе внимания.

Первым на большие перспективы нефтегазоносности морского дна обратил внимание У. Н. Пратт.

Пересматривая в 1950 г. ранее приводимые им цифры запасов нефти в мире, Л. Г. Уикс оценил запасы нефти, заключенные в недрах шельфов, в 55,4 млрд. *т* (Weeks, 1950).

В 1956 г. Н. Р. Локке и Т. Р. Гёдике обратил внимание на то, что все акватории вблизи территорий с разведанными месторождениями нефти, оказались нефтегазоносными. На этом основании они подсчитали потенциально перспективным в нефтегазоносном отношении весь шельф морей, расположенных вблизи нефтегазоносных акваторий.

М. К. Калинко установил, что наличие месторождений нефти и газа под дном водных бассейнов является проявлением одной из закономерностей распределения нефти и газа в земной коре. Это дало основание выделить во всем мире перспективные акватории. В некоторых из этих акваторий через несколько лет были, действительно, открыты месторождения нефти и газа (заливы Кука, Бискайский и Сидр, Северное море, Бассов пролив и др.).

Л. Г. Уикс, пересчитывая запасы нефти в мире, пришел к выводу, что нефти в недрах шельфов в два раза меньше, чем он оценил в 1950 г.

Первая относительно полная сводка по нефтегазоносным акваториям мира была опубликована М. К. Калинко в 1964 г. В ней показано, что помимо акваторий, находящихся рядом с нефтегазоносными территориями, должны быть самостоятельные нефтегазоносные акватории, которые могут располагаться на некотором удалении от неперспективных в нефтегазоносном отношении территорий. Кроме того, были рассмотрены перспективы нефтегазоносности континентального склона, континентального подножия и трогов Мирового океана.

Интересная и содержательная статья, посвященная нефтегазоносности шельфа, была опубликована известным специалистом по морской геологии нефтегазоносных областей К. О. Эмери. В ней автор показывает малую изученность шельфов и континентальных склонов, рассматривает возможные геологические условия их формирования, дает классификацию локальных структур и возможных залежей нефти и газа, которые могут быть обнаружены в пределах указанных акваторий (Emery, 1965).

В 1966 г. Л. Г. Уикс опубликовал специальную статью, посвященную оценке потенциальных запасов нефти, содержащихся в пределах шельфов. Оказалось, что запасы нефти, содержащиеся в пределах шельфов, в 3,5 раза выше тех цифр, которые он давал в 1958 г.

В течение 50-х годов были обобщены геологические материалы по отдельным нефтегазоносным акваториям. Впервые это было сделано для отдельных частей, а потом и для всего Каспийского моря (Мелик-Пашаев и др., 1954; Алиханов, 1964; и др.). Непрерывно растет количество подобных докладов на международных конгрессах. Так, на XX сессии Международного геологического конгресса в Мехико в 1956 г. был заслушан всего один доклад на эту тему — упоминавшаяся выше работа Н. Р. Локке и Т. Р. Гёдике. На V нефтяном конгрессе (Нью-Йорк, 1959 г.) этому вопросу было посвящено три доклада; на VI нефтяном конгрессе (Франкфурт-на-Майне, 1963 г.) — шесть докладов; на VII нефтяном конгрессе (Мехико, 1967 г.) были проведены два симпозиума, посвященных поискам, разведке и разработке нефти и газа в пределах различных акваторий мира (на них было представлено уже 20 докладов).

Методы оценки перспектив нефтегазоносности и поисков залежей нефти и газа. До 20-х годов XX столетия основным поисковым признаком для определения перспектив нефтегазоносности той или иной территории являлись нефтегазопроявления на поверхности и, по существу, основная работа заключалась в выборе места заложения поисковой буровой скважины. Для этого необходимо было провести тщательное квартирование (Крэг, 1923). Однако уже в конце 20-х годов считалось, что на перспективы нефтегазоносности могут указывать не только непосредственно нефтегазонаправления, но и косвенные признаки: сальвы, грязевые вулканы, наличие соленосных отложений, вы-

ходы различно минерализованных вод (бромистых, йодистых серных и т. д.), выходы углекислого газа и др. (Блюмер, 1929).

В последующем основой для оценки перспектив нефтегазоносности стали служить данные о геологическом строении территорий, наличии в разрезе возможных нефтегазопроизводящих свит, коллекторов и покрышек (Губкин, 1932; и др.). Это открыло широкие возможности для использования метода аналогии. Впервые данный метод был применен И. М. Губкиным для оценки перспектив нефтегазоносности Русской платформы. И. М. Губкин писал: «Но мы полагаем, что на беспредельной великой равнине Европейской части Союза мы найдем условия залегания нефти, аналогичные условиям великих равнин Мид-Континента Соединенных Штатов, а вместе с ними встретим условия, аналогичные тем, которые представляют американские пески, получившие мировую известность: Bartsville Sand, Burbank Sand, Gleen Sand, Clinston Sand и др.» (1932, стр. 360).

Этот прогноз, как известно, блестяще оправдался. Указанный метод был также с успехом использован А. А. Бакировым (1957) для оценки перспектив нефтегазоносности Средней Азии. Такая оценка на основании анализа геологического строения хорошо оправдала себя при прогнозировании нефтегазоносности таких регионов, как Западно-Сибирская низменность, Вилюйская впадина и др. Не имея возможности останавливаться на истории открытия месторождений нефти и газа во всех регионах СССР, отсылаем читателей к книгам А. Я. Кремса (1964) и С. Ф. Федорова (1953).

Надо отметить, что применение этой методики позволило открыть многие крупные нефтегазоносные области в различных частях мира: в Европе (Средне-Европейскую, включая Северное море), в Африке (Северо-Африканскую, Нигерийскую, Кванзийскую и др.), в Австралии (Восточно-, Центрально- и Западно-Австралийскую и др.) и т. д.

Сравнительно быстрое открытие этих регионов стало возможным вследствие широкого применения для целей нефтяной геологии геофизических методов разведки. Следует отметить, что в довоенный период геофизические методы применялись в основном для выявлении отдельных структур, а затем, используя полученные данные в комплексе с геологическими наблюдениями, приступали к поискам нефти на каждой из выявленных структур (Абрамович, 1941).

Значительно изменилась методика поисков нефти и газа в новых областях благодаря внедрению опорного бурения. В комплексе с региональными геофизическими работами эта методика позволяла в кратчайшие сроки определять основные черты геологического строения изучаемой территории разрез отложений, слагающих район, наличие в них битуминозных пород, коллекторов и покрышек, особенности тектоники, гидрогеологические условия и т. д. Мало того, оказалось, что во многих регионах опорные скважины (иногда первые) являлись скважинами-открывательницами. Так были открыты первые месторождения в платформенных областях Средней Азии, в Западной и Восточной Сибири и других регионах. Наличие данных об основных чертах строения многих регионов позволило существенно изменить методику оценки перспектив их нефтегазоносности. Коллективом исследователей под руководством Н. И. Буялова (1962) была разработана методика подсчета прогнозных запасов нефти и газа и оценки перспектив нефтегазоносности территорий с учетом плотности запасов нефти и газа, приходящих на единицу площади.

Рассматривая методику поисков залежей нефти и газа, нельзя не остановиться на геохимических методах поисков. В 1923 г. Д. У. Джонс, У. П. Янт и Е. П. Бикстон, исследовавшие содержание газов в поверхностных и неглубоких водах, обнаружили повышенное содержание метана и тяжелых угле-

водородов над газовыми залежами и предложили использовать этот метод для поисков нефти и газа.

В 1930 г. В. А. Соколов предложил, а в 1932—1933 гг. опробовал метод газовой съемки для поисков нефтяных и газовых месторождений (Соколов, 1936).

В течение 30-х — начале 40-х годов этот метод совершенствовался, появился целый комплекс других геохимических методов. В короткий срок как в СССР, так и за рубежом эти методы получили сравнительно широкое распространение; с их помощью был выявлен ряд аномалий, частично отвечающих месторождениям. Однако к середине 40-х годов наступило разочарование и объем производственных работ и исследований стал уменьшаться. Оказалось, что геохимические аномалии на поверхности зависят от многих факторов (движения грунтовых вод, характера почвы, степени нарушенности структур и т. д.), вследствие чего существует много ложных аномалий, а над многими месторождениями нет аномалий. Среди разработанных и примененных в этот период методов наибольшее распространение получил метод газового каротажа и люминесцентно-битуминологических исследований (Флоровская, 1946; и др.).

В конце 50-х — начале 60-х годов интерес к прямым геохимическим методам поисков нефти и газа снова возрос, что объясняется следующими обстоятельствами:

1) некоторые аномалии, представляющиеся ранее «ложными», в действительности оказались приуроченными к нефтяным месторождениям (например, в Западной Туркмении и других районах);

2) методика анализов, с одной стороны, упростилась, что снизило их стоимость и повысило производительность труда, с другой,— анализы стали разносторонними, что увеличило объем информации;

3) совершенствовалась методика исследований, при которой во многом исключается влияние условий, существующих в приповерхностной зоне;

4) выявляется возможность комплексного применения геохимических и геофизических методов, что повышает надежность прогнозирования.

Нефтепромысловая геология. До начала 20-х годов текущего столетия основное внимание геологов-нефтяников, занимающихся поисками и разведкой нефти, уделялось тщательным наблюдениям за признаками нефти и газа и выбору мест для заложения скважин.

Изучение вскрываемых скважиной пород в основном сводилось к их краткому литологическому описанию. Хотя уже тогда было известно, что породы обладают различной пористостью, для расчетов о возможных запасах принимались средние данные о пористости — 10% для всех пород. Надо сказать, что к этому времени накапливались данные, указывающие на значительную неполноту извлечения нефти из недр, причем были установлены значительные колебания коэффициента нефтеотдачи — от 10 до 90%. Таким образом, подсчет запасов сводился к определению площади распространения нефтеносных пород и их мощности. Учитывалось также и наличие газовой шапки.

Следует отметить, что в России запасы уже подсчитывались несколько полнее: А. М. Коншиным на Кубани (1888 г.) и в Баку (1892 г.), И. Н. Стрижовым (1905 г.) — запасы нефти, выявленные в Грозненском районе.

Начиная с 20-х годов, значительное внимание уделяется изучению пород как вместилищ нефти и газа. Появляются методы изучения общей пористости горных пород и гранулометрического состава. В течение 20-х годов были изучены пористость и гранулометрический состав обломочных пород многих нефтегазоносных областей мира.

Получаемые данные позволяли приступить к подсчету запасов нефти по отдельным месторождениям и районам: Д. В. Голубятниковым, а несколько

позднее С. И. Мироновым были подсчитаны запасы нефти в месторождениях Бакинского района, С. И. Чарноцким — Грозненского и Майкопского районов.

Следует отметить, что, несмотря на несовершенство методики, точность произведенных подсчетов была сравнительно высокой. Так, Д. В. Голубятников (1924) считал, что в недрах Апшеронского полуострова содержится 885 млн. *т*. Как известно, за все время эксплуатации в Азербайджане добыто нефти порядка 950 млн. *т*. Если учесть, что часть нефти добыта из морских месторождений, запасы по которым, естественно, не могли быть включены в подсчет, то цифры приведенные в работе Д. В. Голубятникова, надо признать довольно близкими к действительности.

В эти же годы в СССР И. Н. Стрижовым и М. В. Абрамовичем было положено начало исследованиям по выбору рациональных систем разработки пласта-резервуара; в частности, была предложена система разработки залежей от крыльев к своду, получившая за рубежом название «русская система».

Начиная с 30-х годов нефтепромысловые исследования расчленяются на три направления, все более расходящиеся между собою: соответственно нефтепромысловые исследования; изучение коллекторских свойств пород и продуктивного пласта в целом; подсчет запасов нефти и газа. Собственно нефтепромысловые исследования на раннем этапе включали обработку всей поступающей из глубоких скважин информации с целью выяснения геологического строения площади, ее нефтеносности и обеспечения добычи нефти и газа (Билибин и др., 1934). При этом информация, получаемая скважинами, была в основном геологической.

В последующий этап, вследствие внедрения геофизических методов, потребовалась интерпретация информации, так как она характеризовала различные физические поля, создаваемые вскрытыми породами, характер которых подлежал определению. Внедрялись и геохимические методы изучения разрезов скважин. В настоящее время применяется более 40 методов расчленения и параллелизации разрезов буровых скважин, обработка всей получаемой информации является основой нефтепромысловой геологии (Жданов, 1962). При этом комплексная интерпретация результатов исследований скважин, проведенных различными методами, позволяет извлекать информацию о нефтегазоносности вскрытых скважиной пород и условиях их залегания, отдельных этапах геологического развития района и т. д. (Долицкий, 1968).

С 40-х годов в качестве самостоятельного направления исследований в нефтепромысловой геологии оформляется учение о разработке нефтяных месторождений, которое базируется на данных промысловой геологии, подземной гидродинамики и отраслевой экономики. В результате были созданы научные основы разработки нефтяных месторождений и предложены различные системы разработок в зависимости от геологических условий месторождений и технико-экономических данных (Крылов и др., 1948).

В дальнейшем совершенствовались методы использования геологической информации для выбора наиболее рациональных методов разработки (Максимов, 1965).

Значительный материал накоплен в СССР по шахтной добыче нефти, что позволило создать рациональные методы шахтной разработки нефтяных месторождений. При этом основная цель всех систем разработки — максимальное извлечение нефти из недр при минимальных затратах. Надо отметить, что внедрение новых способов разработок нефтяных месторождений, например с заводнением, а также методы вторичной добычи требуют более детальной информации о продуктивных горизонтах: необходимы данные об изменении коллекторских свойств пород в пространстве, изменении свойств насыщающих флюидов, режимах залежей и т. д.

Значительно совершенствовалась и усложнялась методика изучения коллекторских свойств пород. В начале 30-х годов стало ясно, что общая пористость, определяемая по способу Мельчера, не может характеризовать действительной емкости породы как коллектора. Поэтому Н. А. Преображенским был предложен способ определения открытой пористости горных пород. Хотя о различной способности пород пропускать через себя флюиды знали еще в начале изучения нефтяных месторождений, способы количественного определения этого свойства стали в нефтяной геологии применяться лишь в 30-х годах. Затем оказалось, что и эти данные недостаточны для познания продуктивных пластов: стало необходимым определять динамическую пористость пород, содержание остаточной воды, структуру порового пространства. Кроме того, выяснилось, что свойства флюидов, определяемые на поверхности, существенным образом отличаются от свойств, которыми они обладают на глубине. Были предложены способы изучения коллекторов, структуры их порового пространства и свойств нефтей, газов и воды в пластовых условиях (Котяхов, 1956).

Через некоторое время выяснилось, что свойства коллекторов на поверхности, существенно отличаются от свойств, которыми они характеризуются в недрах. Это потребовало разработки и внедрения аппаратуры для определения коллекторских свойств в пластовых условиях.

Одновременно выявлялись связи между различными коллекторскими свойствами пород в зависимости от литологического состава, структуры и текстуры последних. И уже к середине 60-х годов это направление сформировалось в учение о коллекторах нефти и газа (Ханин, 1965).

Большие изменения произошли в методике подсчетов запасов нефти и газа. До 20-х годов текущего столетия запасы нефти (газ не подсчитывался) определялись лишь объемным методом.

В 1922 г. С. И. Чарноцким был произведен подсчет запасов нефти, содержащейся в месторождениях Грозненского и Майкопского районов, статистическим методом (методом кривых). В 30-х годах в СССР М. А. Ждановым и в США Х. С. Колеманом с соавторами (Coleman a. o., 1930) был предложен метод подсчета запасов нефти с учетом пластовых давлений. В 40-х годах был разработан метод подсчета запасов нефти по материальным балансам.

Разработка методов подсчета газа была начата в 30-х годах. При этом вначале был предложен статистический метод, а затем и динамический (Жданов, 1940, 1952; и др.).

Накопленный в СССР богатый опыт подсчета запасов позволил уже в 1942 г. разработать классификацию запасов месторождений нефти и газа, дифференцировать их на три категории по степени разведанности (А, В и С) и определить комплекс данных и требования к их точности запасов по этим категориям.

В течение последующих 25 лет требования к данным при подсчете запасов несколько раз пересматривались в основном в сторону повышения точности исходных параметров.

Каждая категория запасов служит для определенной стадии планирования: А — для планирования текущей добычи нефти и газа; В — для планирования добычи в разрезе 5—7-летних планов и проектирования строительства промышленных сооружений; С — для планирования прироста промышленных запасов и объемов разведочного бурения.

В связи с перспективным планированием народного хозяйства на 15—20 лет возникла необходимость в получении данных о перспективных запасах. Было внесено предложение выделить еще одну категорию — запасы прогнозные (D) с подразделением их на D_1 и D_2 (Буялов и др., 1962).

В других странах, в частности в США, была разработана несколько иная классификация запасов нефти и газа, которая не позволяет так дифференцированно оценивать запасы.

Таким образом, за истекшие годы XX столетия нефтегазовая геология превратилась из чисто описательной и познавательной науки в науку прогнозирующую, направляющую развитие нефтегазодобывающей промышленности. Вместо различных догадок об образовании нефти и углеводородных газов создана теория их происхождения. Выявлены закономерности распределения нефти и газа в земной коре, подсчитываются их запасы как для отдельных регионов, так и для всего мира в целом. Установлено, что значительная часть ресурсов нефти и газа, содержащихся в земной коре, располагается под дном водных бассейнов. Решаются задачи наиболее полного извлечения нефти и газа из недр при минимальных затратах. Правильность основных положений науки подтверждается практикой поисково-разведочных работ, открытием новых нефтегазоносных областей и обеспечением постоянного ежегодного прироста добычи нефти в мире на 6—8% и газа на 10—15%.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Основные направления гидрогеологии, развитые во второй половине XIX в., продолжали совершенствоваться в XX в. Так, р е г и о н а л ь н а я гидрогеология, развивавшаяся на основе региональной геологии, охватывала все новые, ранее совсем или почти не исследованные территории (Азия, Африка), а также (по мере развития буровой техники) все более глубокие водоносные горизонты. Гидрогеологическая съемка становится неотъемлемой составной частью комплексной геологической съемки. Составляются детальные, все более крупного масштаба гидрогеологические карты, совершенствуется гидрогеологическая картография. Появляется необходимость составления обзорных гидрогеологических карт, охватывающих часто большие территории и имеющих иногда характер государственных карт,— например, карты грунтовых вод Европейской части СССР, составленные большим коллективом гидрогеологов к 50-м годам. Назревала задача создания гидрогеологических карт мира. Однако к середине XX в. эта задача не была решена.

Если во второй половине XIX в. составлялись главным образом общие гидрогеологические карты, отображавшие лишь распространение (или географию) подземных вод, то уже к 40-м годам XX в. переходят к составлению карт самого различного содержания и назначения, самых разных масштабов: карты глубин залегания, минерализации, водопроводимости горных пород, запасов, ресурсов, баланса, напора, подтопления, подземного стока, карты-срезы на различных плоскостях от уровня моря (выше и ниже абсолютной высоты), карты прогноза тех или других гидрогеологических процессов и т. д.

Большое развитие получила к середине XX в. д и н а м и к а п о д з е м н ы х в о д. Она развивалась в различных направлениях в связи с решением практических вопросов в областях гидротехнического строительства, нефтяного дела, водоснабжения, горного дела, бальнеологии и др.

Если в XIX в. динамика подземных вод занималась главным образом решением вопросов о закономерностях у с т а н о в и в ш е г о с я движения подземных вод в о д н о р о д н ы х пластах, то к 60-м годам XX в. потребовалось все более обстоятельное математическое выражение н е у с т а н о в и в ш е г о с я (переменного во времени) движения подземных вод, причем не только в однородных, но и в н е о д н о р о д н ы х, часто весьма разнородных и к тому же сложно залегающих пластах. Постепенно, все более приближаясь к конкретным природным условиям, было разработано математи-

ческое выражение закономерностей движения подземных вод к водосборным сооружениям, под гидротехническими сооружениями; разработаны теоретические основы и математическое выражение оценки и классификации запасов и ресурсов подземных вод (в частности для водоснабжения); разработаны принципы оценки ресурсов и баланса подземных вод; разработаны методы прогноза изменения режима подземных вод в разных условиях, прогноза изменения уровня грунтовых вод (в частности на орошаемых территориях), прогноза подпора грунтовых вод, а также прогноза солевого и водно-солевого баланса орошаемых территорий.

Все эти направления (проблемы) в динамике подземных вод, получившие наиболее полное, по сравнению с другими отраслями гидрогеологии, математическое обоснование составили к 30—40-м годам особую — с п е ц и а л ь н у ю, или и н ж е н е р н у ю, гидрогеологию, которая развивалась на основе данных региональной гидрогеологии.

В СССР инженерная гидрогеология разработана наиболее фундаментально школами Н. Н. Павловского и Г. Н. Каменского. По этому разделу гидрогеологии к середине 60-х годов XX в. в мире существовала уже огромная литература, главнейшая из которой приведена в книге А. И. Силина-Бекчурина «Динамика подземных вод» (1965).

М е д и ц и н с к а я гидрогеология по сравнению с XIX в. также получила многостороннее развитие. Сводка научных исследований в этой области в России до Великой Октябрьской социалистической революции («Минеральные воды России») опубликована в 1920 г. Медицинская гидрогеология в СССР развивалась неотрывно от практических вопросов курортного строительства. В 1927 г. еще до первого пятилетнего плана развития народного хозяйства был созван VI Всесоюзный научно-организационный съезд по курортному делу, наметивший главнейшие задачи изучения минеральных вод и грязей. За время довоенных пятилеток эти исследования в СССР получили большой размах, особенно в районе Кавказских Минеральных вод (Ессентуки, Железноводск, Пятигорск и др.), а также в Грузии и Армении.

В 30—40-х годах во многих странах мира начинается изучение минеральных вод не только для целей бальнеологии и курортологии, но и для удовлетворения запросов химической промышленности. Минеральные воды и глубоко залегающие рассолы становятся все в бóльшей степени сырьевой базой для соляной, бромной, йодной, радиевой промышленности.

Все большее значение минеральные воды стали приобретать также как поисковые признаки для нефти, газа, некоторых руд, редких элементов. Очень большой интерес вызывают, особенно с середины XX в., термальные воды, которые кроме вышеперечисленных видов использования стали применяться и в целях отопления (жилых помещений, парников, оранжерей). Практическое применение термальных вод расширилось в связи с бурением на все большие глубины (главным образом на нефть).

Уже в начале XX в. термальные воды использовались в Италии, Исландии, США, к середине XX в.— в СССР (Камчатка).

Если учесть, что из общего количества воды на земном шаре (в современную эпоху) в 1,8 млрд. *км*^{3} на подземные воды, считая до глубины 16 *км*, приходится около 400 млн. *км*^{3}, а из этих последних значительно бóльшая часть относится к минеральным водам и рассолам, то будет ясно то большое значение, которые приобрела в первые десятилетия XX в. в системе гидрогеологических знаний наука о минеральных водах. Она далеко вышла за рамки медицинской гидрогеологии XIX в. приобрела, с одной стороны самостоятельный облик (предмет, задачи, метод), с другой,— сомкнулась с такими новыми науками XX в., как гидрогеохимия и радиогидрогеология. К середине 60-х годов глубокому изучению подверглись физико-химические осо-

бенности минеральных и термальных вод, многообразные процессы их формирования, закономерности распространения, режим, запасы, ресурсы.

По этому разделу гидрогеологии к середине 60-х годов XX в. накопилась большая литература, главнейшая из которой — советская и зарубежная — приведена в книге А. М. Овчинникова «Минеральные воды» (1963).

На основе накапливающегося фактического материала в первой половине XX в. выявляется ряд общих гидрогеологических закономерностей.

Одна из них — зональное распределение неглубоких грунтовых вод. Начало общему учению об естественно-исторической зональности, или о зонах природы, положил в самом конце XIX в. русский ученый В. В. Докучаев. Его учение было основано на подмеченных закономерностях в распределении почв разного состава. На обширной площади Русской равнины и Кавказа — от тундры до субтропиков — он выделил пять широтных естественно-исторических зон. Его учение о зонах природы получило мировую известность (Docoutchaeff, 1900). В исследованиях В. В. Докучаева косвенно был затронут и вопрос о зональности неглубоких грунтовых вод.

По мере углубления представлений о широтной климатической и гидрологической зональности вопрос о зональности грунтовых вод становился в начале XX в. все более актуальным. Первую схему широтной зональности грунтовых вод на основе учения В. В. Докучаева о зонах природы разработал к 1914 г. на примере Русской равнины П. В. Отоцкий (1914). Он выделил четыре широтные зоны грунтовых вод: 1) зону (соответствующую примерно полярно-тундровой полосе) неглубоких, переходящих в поверхностные, обильных, почти совершенно не минерализованных вод с избытком органического вещества; 2) зону (соответствующую примерно лесной полосе) неглубоких сравнительно обильных, умеренно минерализованных вод хорошего качества; 3) зону (соответствующую степной полосе) умеренно обводненную, местами глубоких, в различной степени минерализованных вод; 4) зону южную, маловодную и безводную, с глубокими, значительно минерализованными грунтовыми водами.

По мере накопления фактического материала по региональной гидрогеологии представление о зональных закономерностях в распространении и характере грунтовых вод усложнялось. Так, в результате обобщения уже значительного материала коллективом советских гидрогеологов под руководством В. С. Ильина была в 1922 г. (к Всероссийской сельскохозяйственной выставке 1923 г.) составлена специальная «Схематическая карта грунтовых вод Европейской части СССР» в масштабе 60 верст в 1 дюйме, на которой были выделены семь зон грунтовых вод, введено понятие азональных грунтовых вод и выделены шесть их типов. Эта карта, впервые опубликованная с подробным описанием в 1930 г. получила затем широкое распространение и мировую известность в результате ее многократного воспроизведения в ряде монографий, энциклопедий, учебников.

Проблема зональности грунтовых вод многосторонне стала разрабатываться с 30-х годов. Разработанная первоначально применительно к территории Русской равнины, схема зональности грунтовых вод разработана позже для полуаридного пояса Средней Азии — главным образом трудами О. К. Ланге и его школы, а для арктического пояса — в основном трудами Н. И. Толстихина и его школы.

За 30—40-е годы вопросу зональности грунтовых вод посвящена большая литература (Гордеев, 1954). Эта проблема разрабатывалась и продолжает разрабатываться главным образом в СССР вследствие географических особенностей страны, равнинные части которой простираются от Северного Ледовитого океана и тундры на севере до субтропиков Закавказья и Средней Азии на

юге. Ни в какой другой стране мира нет возможности так четко проследить зональные закономерности в распределении и характере грунтовых вод, как в СССР.

Одновременно с проблемой зональности грунтовых вод в 30—40-х годы систематически изучались явления их азональности — явления, которые вскрывались все чаще по мере развития региональной гидрогеологии и гидрогеологической съемки. Азональные грунтовые воды детально изучались в США, а также Германии, Франции, Англии и других западноевропейских странах.

Как самостоятельная ветвь гидрогеологии к 30-м годам выделяется у ч е н и е о п о д з е м н ы х в о д а х о б л а с т и м е р з л о й з о н ы л и т о с ф е р ы (области «вечной» мерзлоты). Это учение сформировалось в тесном контакте с общей гидрогеологией, общей гидрологией, гляциологией и мерзлотоведением. К 30-м годам выяснилось, что на обширной территории СССР, США, Канады, Гренландии (позднее в Антарктике) влияние климатических факторов прошлого распространяется на глубину до 600 и более метров в толщу земной коры, вызывая существенные изменения в условиях залегания, циркуляции, режима подземных вод мерзлой геозоны.

В СССР итоги этой области знания подведены Н. И. Толстихиным (1941), который опубликовал и довольно обширный список русской и иностранной литературы. Им разработана подробная классификация как жидкой, так и твердой фазы подземных вод мерзлой геозоны. Он выделил три категории жидких вод: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные, с дальнейшим подразделением их на типы.

Так как в странах Западной Европы область «вечной» мерзлоты с ее специфическими подземными водами отсутствует, западноевропейская литература по этому вопросу бедна. Зато предметом изучения в Западной Европе, особенно с 20-х годов, стали гидрогеологические условия ледяных масс горных ледников. Начало исследованиям в этом направлении положил французский ученый Е. А. Мартель (Martel, 1921). В США и Канаде подземные воды мерзлой зоны литосферы, т. е. области «вечной» мерзлоты стали тщательно изучаться лишь после второй мировой войны.

Практика глубокого бурения во многих странах (преимущественно в СССР и США) особенно со второй четверти XX в. в связи с поисками и добычей нефти и газа, а также и другими целями (получением минеральных, термальных, радиоактивных вод, рассолов и др.) дала чрезвычайно обильный фактический материал по глубоким артезианским водам. К 30-м годам была установлена вертикальная г и д р о х и м и ч е с к а я зональность подземных вод. Первоначально были выделены в вертикальном разрезе три основные гидрохимические зоны (сверху вниз): гидрокарбонатная, сульфатная, хлоридная. Выявлено закономерное увеличение минерализации с глубиной. Подверглась изучению также г и д р о д и н а м и ч е с к а я вертикальная зональность подземных вод. На протяжении 30—40-х годов п р о б л е м а в е р т и к а л ь н о й (гидрохимической и гидродинамической) з о н а л ь н о с т и п о д з е м н ы х в о д стала актуальной и остро дискуссионной. По этому вопросу появилась очень большая литература. Выявились различные точки зрения на причины вертикальной зональности.

Фактический материал глубокого бурения во всех странах мира как непосредственно на воду, так и на другие полезные ископаемые (особенно на нефть и газ) положил начало большой литературе о б а р т е з и а н с к и х в о д а х, артезианских бассейнах, их типах, закономерностях распространения, областях питания и разгрузки, геологической истории артезианских вод и их бассейнов. В СССР наиболее обширными сводками к середине 40-х годов были работы А. Н. Семихатова (1925), В. А. Жукова и других (1939),

М. И. Кучина (1940), К. И. Макова (1946), А. А. Дубянского, Д. И. Гордеева и др.

В области региональной гидрогеологии с 40-х годов значительно повысился интерес к водам аридной зоны земного шара. В ряде стран организуются исследования в этом направлении (Марокко, Алжир, Ливия, ОАР, Судан). Данным вопросом стала заниматься ЮНЕСКО, и к началу 50-х годов был накоплен большой материал. В 1953 г. ЮНЕСКО была опубликована книга «Гидрология и гидрогеология аридной зоны земного шара (обзор исследований)» (Reviews ..., 1953).

В ней освещены вопросы гидрологии и гидрогеологии обширной территории, приходящейся на аридную зону земной поверхности: Северо-Восточной Африки, Южно-Африканского Союза и Анголы, Среднего Востока, Индии и Пакистана, США и Канады, Латинской Америки и Австралии. В обзоре приведена огромная литература — около 1600 литературных источников, среди которых отсутствуют материалы по гидрогеологии СССР, МНР и КНР.

Возникший интерес к гидрогеологии аридной зоны Земли был обусловлен тем, что в ряде областей этой зоны с 40-х годов обнаружены не только большие запасы подземных вод, но и ряда других полезных ископаемых, в частности нефти и газа. При этом выявилось, что во многих пустынных зонах пресные воды залегают под солеными. Эти открытия еще более усложнили дискуссионный вопрос о причинах вертикальной гидрохимической зональности подземных вод и ее закономерностях.

К середине 40-х годов в проблеме зональности подземных вод выявились 10 основных, требовавших изучения вопросов: 1) горизонтальная (широтная) зональность процессов испарения, термической конденсации, сорбции и т. п. (самостоятельная проблема о зоне аэрации); 2) зональность водных растворов всей коры выветривания — почвенных, подпочвенных, грунтовых вод; 3) влияние почвенных и подпочвенных растворов на формирование химического состава грунтовых вод в разрезе естественно-исторической зональности; 4) гидрохимические фации и вертикальная микрозональность грунтовых вод в зависимости от рельефа и комплекса других естественно-исторических условий; увеличение минерализации по направлению от области питания к области разгрузки, т. е. от водораздела к речным долинам; 5) гидрохимическая зональность, может быть, сезонно-периодическая (?) азональных (!) аллювиальных вод крупных рек, пересекающих естественно-исторические зоны; зональность и фациальность речных вод; 6) эволюция зональности грунтовых вод в зависимости от изменения климата и других условий в разрезе геологического времени; 7) грунтовые воды, их химический состав, режим, характер неглубокого кругооборота природных вод как составной элемент различных географических ландшафтов, как выражение борьбы противоположных тенденций: зональных (широтно-поясных) и азональных, т. е. гелиоцентрических и геоцентрических факторов; 8) пределы глубины влияния естественно-исторической зональности (поверхностных географических ландшафтов и климатических условий) на подземные воды литосферы; условия, при которых закономерности вертикальной зональности (динамика, геотермика) начинают преобладать и нивелировать влияние горизонтальной зональности и ландшафтности; 9) зональные закономерности распределения газов в литосфере; 10) большой комплекс вопросов о закономерностях вертикальной гидрохимической и гидродинамической зональности; эволюция этой зональности в разрезе геологического времени; зависимость ее от вертикальных движений земной коры.

Большой проблемой общей теоретической гидрогеологии к середине 60-х годов стала проблема подземного стока и связи подземных и поверхностных вод. Разработка этой проблемы в значительной степени началась с выяснения

вопроса о роли леса (и вообще растительности) на режим грунтовых вод. Начатая в России еще в конце XIX в. В. В. Докучаевым (1893—1898) и продолженная в начале XX в. его преемниками разработка методических основ изучения взаимосвязи «вода — лес», получила большой отклик иностранных исследователей. Так, французский ученый Э. Анри в 1903 г. писал: «Лишь благодаря русским работам 1895 г., опубликованным мною в феврале 1898 г. в „Annales de la Science agronomique fransaise et ètrangère" и переведенным несколько позднее на немецкий язык в Zeitschrift für Gewässer — Kunde проф. Гравелиуса (1898—1899), появился на свет ... данный вопрос, которым уже издавна не занималась специальная литература» (Анри, 1903, стр. 14—15). Говоря о ценных исследованиях русских ученых в этой области он далее отмечал: «Вследствие волнения, вызванного результатами, полученными в России, лесные опытные станции Германии, Австрии и Швейцарии выработали проект „Программы для изучения влияния леса на режим вод"» (там же).

В первые два десятилетия XX в. в этой области науки особенно выделялись исследования П. В. Отоцкого (1906) в России и Ф. Дьенерта (Dienerte, 1918) во Франции; много было сделано в этом направлении в Германии.

К 30-м годам проблема «вода — лес» переросла в более общую и обширную проблему взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Эта проблема тесно сблизила такие отрасли естествознания, как гидрогеология, гидрология, метеорология, климатология. Проблема разрешалась, в свою очередь, в тесной связи с циклом вопросов подземного стока, с задачами решения практических вопросов о запасах вод и их возобновляемости, о ресурсах подземных вод.

Эти вопросы и задачи стали к 60-м годам неотъемлемыми звеньями большой проблемы общего кругооборота природных вод и проблемы формирования подземных вод — как их количества, так и химического состава.

Проблема формирования подземных вод, поставленная на очередь научного решения советским ученым Ф. П. Саваренским в середине 40-х годов, была подготовлена обсуждением следующих больших и спорных в то время теоретических проблем: 1) классификация подземных вод, 2) виды воды в горных породах, 3) генезис подземных вод.

К л а с с и ф и к а ц и я п о д з е м н ы х в о д еще и до настоящего времени остается спорной, по-разному решаемой проблемой. В самом конце XIX в. и особенно на протяжении первой четверти XX в. в мировой гидрогеологической литературе большое место занимало установление общепринятых понятий и терминов. Чрезвычайно много путаницы вносилось тем, что разные авторы придавали различное значение терминам «подземная», «подпочвенная», «подповерхностная», «грунтовая», «артезианская», «фреатическая», «вадозная» вода. Четкое определение терминов и понятий «грунтовая» и «артезианская» вода дал еще в конце XIX в. в русской литературе С. Н. Никитин, но в общем в мировой литературе в гидрогеологической терминологии, а вместе с этим и в классификации подземных вод имела место большая путаница.

Лишь в 1923 г. гидрогеолог США О. Э. Мейнцер (Meinzer, 1923а, б) поставил эти вопросы на широкое обсуждение. Вторая из указанных книг стала в 20—30-е годы предметом большой дискуссии в США, в СССР и в ряде стран Западной Европы (Германии, Италии, Франции), особенно по вопросу классификации подземных вод. Большая литература по этому вопросу (русская и зарубежная) была приведена в 1933 г. в русском издании второй из названных книг О. Э. Мейнцера.

В результате за 20—30-е годы была разработана более или менее общепринятая в международном масштабе гидрогеологическая терминология и разработан ряд классификаций подземных вод по различным признакам: стратиграфическим, гидрологическим, термодинамическим, гидрохимичес-

ким, генетическим, по общим условиям нахождения в земной коре, по характеру выхода на поверхность.

Проблема о видах воды в горных породах разрешалась на протяжении первых десятилетий XX в. по мере проникновения в гидрогеологию новых методов физики и химии горных пород, почв и вод. К середине 60-х годов установилась следующая классификация видов воды в горных породах:

I. Гравитационные воды:
1) воды с напорной поверхностью;
2) воды со свободной поверхностью.

II. Воды в пористом пространстве и в трещинах горных пород:
1) капиллярные воды:
а) воды капиллярной каймы;
б) стыковые воды;
в) подвешенные воды;
2) связанная вода;
3) пары воды.

III. Воды на поверхности частиц породы:
1) рыхло связанная вода;
2) прочно связанная вода.

IV. Воды в кристаллической решетке минералов:
1) цеолитная вода;
2) кристаллизационная вода;
3) конституционная вода.

Проблема генезиса подземных вод остается одной из важнейших проблем гидрогеологии. Как было сказано выше, на протяжении всей второй половины XIX в. общепризнанной теорией происхождения подземных вод была теория инфильтрации атмосферных осадков, т. е. проникновения жидкой поверхностной воды через поры почв и пород в недра Земли. С трудом пробивала себе дорогу другая теория — теория конденсации, т. е. проникновения с поверхности в глубину литосферы паров воды и их сжижения там.

Эта вторая теория со второго десятилетия XX в. получила экспериментальное подтверждение и многостороннее развитие. Важное значение в признании природного процесса происхождения подземных вод путем конденсации паров в приповерхностных слоях литосферы имели труды советского ученого А. Ф. Лебедева. Особенно большую роль сыграла его книга «Почвенные и грунтовые воды», вышедшая из печати в 1936 г. четвертым изданием, в которой дан обстоятельный обзор истории вопроса как за рубежом, так и в России. Исследования А. Ф. Лебедева (с 1913 г.) и его школы (с 30-х годов) получили мировое признание.

С самого начала XX в. в науке о подземных водах развивалась третья теория их происхождения. Ее изложил австрийский ученый З. Зюсс (Suess, 1903). Причем в его изложении она первоначально сводилась к тому, что на глубине из магмы выделяются в трещины горных пород и поднимаются вверх горячие водяные пары, конденсирующиеся по пути к поверхности Земли и часто выходящие на поверхность в виде термальных вод, отличающихся не только температурой, но и особым химическим составом. Такую точку зрения развивал еще в 1847 г. французский ученый Эли де Бомон (Elie de Beaumont, 1847), но она не была в свое время замечена гидрогеологами.

Позже, в 1909 г., Э. Зюсс изменил свою точку зрения, считая, что не водяные пары, а горячий водород вырывается из магмы и, соединяясь на пути к поверхности Земли с кислородом, дает термальную воду. И в том, и в дру-

гом случае вода впервые входит в кругооборот на Земле и потому была названа Э. Зюссом ювенильной (девственной). Вместе с такой водой выделяется, тоже в качестве ювенильных, ряд элементов (хлор, бром, йод, фтор, сера, углерод и др.).

Теория Э. Зюсса на протяжении первых десятилетий XX в. была предметом дискуссий, пока к середине XX в. не установились представления о разных типах глубинных термальных вод. В 60-е годах стали общепризнанными воды: метаморфические, выделяющиеся в процессе метаморфизма горных пород, в том числе и в процессе диагенеза; магматические — различного происхождения, возникающие очагами в земной коре; глубинные первичные или собственно ювенильные, возникающие в качестве одного из продуктов кристаллизации подкоровой материи; глубинные, синтезирующиеся в земных недрах (тоже ювенильные).

В самом начале XX в. Г. Гёфер в Германии и А. Лейн в США высказались о возможном наличии в земной коре ископаемой (погребенной) или реликтовой воды, т. е. захороненной морской воды несколько измененного состава.

С 30-х годов стали разрабатываться теории происхождения подземных вод в процессах седиментации горных осадков (сингенетичные воды) и дегидратации горных пород (дегидратационные воды).

Большим событием в истории гидрогеологии был выход из печати в 1933—1936 гг. обобщающей сводки советского ученого В. И. Вернадского (1960) «История природных вод», в которой автор, обобщая огромную мировую литературу, показал, что гидрогеология вступает в новый этап своего развития и становится не наукой о подземных водах, а наукой о подземных водных растворах.

В этой работе В. И. Вернадский показал также единство природных (земных) вод и их геологическую историю. Он наметил пути возникавшей тогда новой науки — геологии природных (не только подземных) вод, или учения о геологической истории земных вод. Предметом этой науки, к середине XX в. стало изучение водного режима планеты в целом, его своеобразия на каждом этапе развития Земли. В 60-х годах эти вопросы своеобразно разрабатывались Б. Л. Личковым (1960).

Вместе с тем подземная вода как растворитель, стала изучаться во взаимосвязи с вмещающими ее горными породами, а история подземных вод рассматриваться неотрывно от геологической истории водовмещающих пород.

Старая классическая гидрогеология в 60-х годах становится лишь частью геологии природных (земных) вод. В свою очередь, собственно гидрогеология превращается в весьма сложную систему знания. В ней выделились, как более или менее самостоятельные, такие отрасли знания: региональная гидрогеология, инженерная гидрогеология (или специальная часть динамики подземных вод), общая динамика подземных вод, учение о поисках и разведке подземных вод (Каменский, 1947), учение о подземных водах коры выветривания трещиноватых горных пород (Щеголев, Толстихин, 1939), учение о рудничных водах (Щеголев, 1948), учение о водах нефтяных месторождений, медицинская гидрогеология (тесно связанная с курортологией и бальнеологией), гидрогеология минеральных вод, гидрогеохимия, гидрогеотермия, радиогидрогеология (Токарев, Щербаков, 1956), палеогидрогеология, в частности палеорадиогидрогеология (Гордеев, 1961).

В Советском Союзе основные теоретические проблемы гидрогеологии обсуждались на ряде съездов: Первом Всероссийском гидрологическом съезде в 1924 г., Втором Всесоюзном гидрологическом съезде в 1928 г., Первом Всесоюзном гидрогеологическом съезде в 1931 г. Позже, вследствие все более усложняющегося содержания этой науки и все более многосторонних ее задач,

стали практиковаться республиканские (или всесоюзные, но лишь отраслевые) конференции, совещания по вопросам гидрогеологии.

Для развития мировой гидрогеологии большое значение имело издание в ряде стран учебных пособий по гидрогеологии, в которых часто обобщались последние достижения в области этой науки. Авторами таких работ были: в СССР — П. Н. Чирвинский (1922), О. К. Ланге (1931), Ф. П. Саваренский (1933); в Германии — Г. Гёфер (русское издание в 1925 г.), К. Кейльгак (русское издание в 1914 и 1935 гг.), Е. Принц (русское издание I части в 1932 г., II части в 1937 г.); в США — О. Мейнцер (русские издания в 1933 и 1935 гг.); во Франции — Р. Андримон (1906 г.), Г. Мажер (1912), Е. Имбо (1927 г.); в Швеции — И. Рихерт (русское издание в 1914 г.) и др.

В 1919 г. был организован Международный геодезический и геофизический союз (ныне при ЮНЕСКО), в котором среди других секций (ассоциаций) вскоре была создана секция (ассоциация) по гидрологии. «Международная ассоциация научной гидрологии» существовала автономно и собиралась на конференции, где в международном масштабе среди вопросов гидрологии обсуждались и теоретические вопросы гидрогеологии. Так, на последней до второй мировой войны VII конференции в Вашингтоне в 1939 г. была выделена Комиссия подземных вод. Возглавлял ее О. Мейнцер. На конференции обсуждались три темы по гидрогеологии: 1) циркуляция воды и пара и конденсация последнего между земной поверхностью и зоной насыщения; 2) определение разных видов подземных вод; 3) определение расхода и физических условий потока подземных вод в породах с естественной и нарушенной структурой, движение естественное и приведенное. На VII конференции были представлены два доклада советских гидрогеологов. Особенно острым на конференции был вопрос о гидрогеологической терминологии.

Следующая, VIII конференция состоялась в 1948 г. (в г. Осло). До второй мировой войны существовало Международное общество медицинской гидрологии (с центром в Лондоне).

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Накопление эмпирических знаний о горных породах и почвах и использование их в качестве оснований различных сооружений и строительного материала началось с глубокой древности. Развернувшееся строительство гидротехнических сооружений и дорог в конце XVIII — начале XIX в., связанное с развитием новых социально-экономических отношений, обусловило зарождение инженерно-геологического направления в геологии.

Геологи и почвоведы должны были давать научное обоснование устойчивости пород и почв как оснований сооружений или строительного материала и рекомендовать конкретные пути их использования.

Совместное участие инженеров, геологов и почвоведов в исследованиях грунтов определило два направления в инженерно-геологических исследованиях: естественно-историческое и геотехническое.

Первое направление развивалось на основе использования методик дисциплин геологического цикла: динамической геологии, геологии четвертичных отложений, геоморфологии, учения о коре выветривания, геохимии, а также физики, коллоидной химии и почвоведения. Большое внимание исследователи уделяли изучению динамики геологических процессов под влиянием внешних (сооружения) и внутренних сил и выявлению закономерностей их проявления во времени, с учетом всего комплекса физико-географических явлений.

Второе направление развивалось в рамках строительной механики, и длительное время существовал взгляд, что строительная оценка геологических

или почвенных условий относится к компетенции инженеров-строителей, которым достаточны самые общие представления по геологии. В основе этого направления лежало использование физико-механического цикла дисциплин для построения абстрактных моделей грунта, что, естественно, приводило к игнорированию их естественных особенностей.

Анализ литературных источников XIX в. показывает, что, несмотря на эпизодичность и ограниченность распространения инженерно-геологических исследований, в этот период был накоплен огромный материал о составе, структуре и свойствах горных пород и почв и сделаны некоторые обобщения. Опыт изучения грунтов на земских дорогах России обобщил инженер Е. Головачев (1870). А. П. Карпинский, Н. П. Барбот де Марни, А. П. Павлов, К. И. Богданович, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Д. И. Мушкетовым были обобщены материалы по изучению горных пород в связи с железнодорожным строительством в России. Первая сводка по вопросам технико-геологических исследований в районах распространения многолетнемерзлотных пород была дана А. В. Львовым (1913).

Русские геологи, почвоведы и инженеры оказались пионерами в разработке инженерно-геологического направления в геологии.

Большое влияние на развитие инженерной геологии оказали первый (1903 г.) и второй (1911 г.)Всероссийские съезды по практической геологии — крупные события, объединившие геологов, почвоведов и инженеров различного профиля для решения задач, возникающих при различных видах строительства.

Великая Октябрьская социалистическая революция в России и возникновение в связи с этим новых социально-экономических условий определили дальнейшее развитие инженерной геологии. Соревнование двух систем — социалистической и капиталистической — ускорило темпы строительства, в результате возросли требования к инженерной геологии.

Работы по ирригации и обводнению Заволжских степей, Кура-Араксинской низменности, мелиорации плавень Дона и Кубани, работы по Волховстрою, Свирьстрою, Днепрострою, по планам «Большая Волга», Беломорско-Балтийского канала, канала Москва—Волга, метрополитена и другие потребовали специальных кадров геологов—инженеров-геологов. Первые курсы по гидрогеологии с элементами инженерной геологии были прочитаны в Среднеазиатском университете (О. К. Ланге), Московской горной академии (А. С. Сергеев, В. С. Ильин, Г. Н. Каменский), Донском политехническом институте (К. И. Лисицын), а затем была выделена специальность «инженерная геология» в МГРИ и других институтах.

В конце 20-х и в 30-х годах многое в понимании задач, средств и путей решения геологических вопросов при строительстве было достигнуто при исследовании оползневых районов Крыма, Черноморского побережья Кавказа, Одессы, Киева, Москвы, Поволжья и др. Эти исследования внесли существенные поправки в представления инженеров-строителей о механизме смещения и о природе оползней, а, следовательно, и в методику выбора средств борьбы с ними.

В 1920-х годах происходит организационное оформление инженерной геологии. Особенно быстро развиваются грунтоведение, техническая мелиорация и механика грунтов (Мельникова, 1961).

В Швеции была создана специальная Геотехническая комиссия, координирующая исследования грунтов. В Америке вышли в свет обобщающие работы К. Терцаги (1933).

Развитию инженерной геологии способствовало дорожное строительство. Уже в 20-е годы инженеры-дорожники, почвоведы и геологи вели многочисленные исследования прочности земляного полотна, грунтов основания до-

рог (преимущественно дорог низкой стоимости, с грунтовым покрытием), были созданы дорожно-испытательные станции, разрабатывались вопросы дорожного почвоведения, получившего название «дорожного грунтоведения» (М. М. Филатов, В. В. Охотин, Н. Н. Иванов и др.)

Существенную роль в разработке важнейших для грунтоведения вопросов о структуре и прочности грунтов, а также вопросов, связанных с искусственным их изменением (технической мелиорации), сыграло учение К. К. Гедройца о почвенном поглощающем комплексе.

Успехи дорожного грунтоведения в изучении рыхлых грунтов осваивались в теоретическом и методическом отношениях при инженерно-геологических изысканиях для других видов строительства (железнодорожного, гидротехнического, мелиоративного). Стало ясным, что вопросы о геологических условиях строительства не могут быть решены только методами грунтоведения или только путем изучения геологического строения и современных геологических процессов, так как получаемых при этом данных о геологической среде строительства и эксплуатации инженерных сооружений явно недостаточно.



Ф. П. Саваренский

В 1930-е годы одновременно с синтезом знаний по инженерной геологии происходит и резкая их дифференциация. В Советской России развиваются такие направления, как геодинамика (А. П. Павлов, Н. Ф. Погребов, Ф. П. Саваренский), техническая мелиорация (М. М. Филатов), механика грунтов (Н. М. Герсеванов), грунтоведение (М. М. Филатов, В. В. Охотин, В. А. Приклонский и др.).

В Америке, Германии, Швеции, Норвегии особенно успешно развивалась геотехника, так как длительное время в этих странах грунты изучались как строительные материалы в рамках строительной механики. В 1933 г. американский ученый К. Терцаги писал, что в любой области прикладной механики исследователь имеет дело с идеальными материалами, что такой подход применим к любой теории грунтов. По его мнению, грунты отличаются только размерами частиц, связность их объясняется капиллярным давлением, сжимаемость — гибкостью чешуйчатых частиц. Таким образом, роль особенностей химико-минералогического состава грунтов исключалась.

Различия в методике и исходных положениях инженерно-геологических исследований были отмечены самим К. Терцаги в докладе на I Международном конгрессе почвоведов в Вашингтоне (1927 г.), где он подчеркнул, что русский метод изучения грунтов имеет свои преимущества.

Эти различия стали еще более резкими, когда русские ученые Ф. П. Саваренский, М. М. Филатов, Н. М. Герсеванов вскрыли ряд природных особенностей грунтов и определили новые задачи в их изучении.

В 1925—1928 гг. Ф. П. Саваренский установил зональные закономерности в химизме грунтовых вод и взаимосвязь последнего с условиями почвообразования и процессами поверхностного выветривания в зависимости от климата. Им был выявлен факт влияния ионов, растворенных в воде солей на водные свойства глинистых пород.

М. М. Филатовым устанавливается зональность подпочв (грунтов) и обосновывается функциональная связь физико-механических свойств грунтов с их генезисом. Он выдвигает ряд принципиально новых положений, положивших начало новому физико-химическому направлению — технической мелиорации грунтов.

Н. М. Герсевановым (1931) разрабатываются основы динамики грунтовой массы. Механика грунтов, представления которой вначале базировались на механике сыпучих тел, делает первые шаги в применении к рыхлым грунтам теории упругости, пластичности и реологии. В противовес учению о предельном равновесии сыпучей среды в механике грунтов создается новое направление, которое было развито позже учениками Н. М. Герсеванова.

Появляется необходимость изучения возникающих под воздействием инженерных сооружений процессов, названных Г. Н. Каменским (1936) инженерно-геологическими. Грунтоведение становилось частью инженерной геологии, другими частями которой были инженерная геодинамика и региональная инженерная геология с региональным грунтоведением.

Инженерная геология выделяется в самостоятельную геологическую науку и оказывает влияние на развитие других разделов геологии: гидрогеологии, литологии,минералогии и почвоведения.

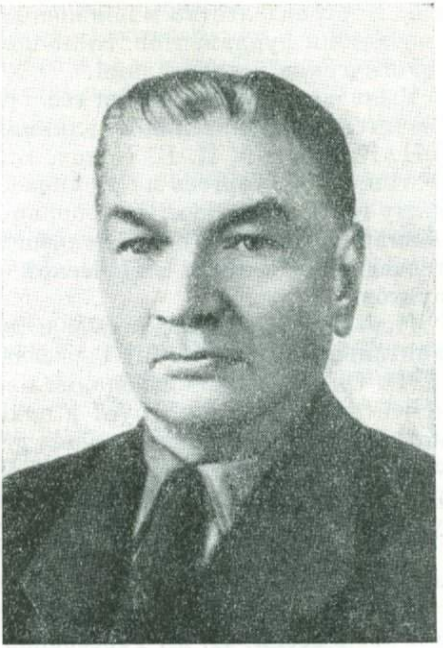
В 1930-х годах, когда в трудах русских ученых Ф. П. Саваренского, М. М. Филатова, Н. М. Герсеванова были определены предмет, методы и задачи возникших направлений инженерной геологии, во многих странах крупными строительными государственными учреждениями организуются специальные исследования применительно к различным видам строительства. В Швеции они были сосредоточены в Государственной геотехнической комиссии, в США в Корпусе Военного департамента, в Дорожном управлении, в Бюро мелиорации и т. д., в СССР в Геологическом комитете, в Центральном управлении местного транспорта, в ряде вузов. В каждой стране возникли специальные научно-исследовательские лаборатории, в ряде университетов началась подготовка специалистов грунтоведов и инженеров-геологов, открылись новые кафедры. В Германии геологические исследования для строительства организуются в рамках «технической геологии», развиваемой доктором И. Штини (1925).

Первая в мире кафедра грунтоведения была открыта в Ленинградском университете в 1930 г., а первая кафедра инженерной геологии была организована в 1932 г. в Московском геологоразведочном институте (МГРИ) Ф. П. Саваренским. Уже в 1937 г. вышел в свет первый учебник «Инженерная геология» Ф. П. Саваренского, который отразил складывающееся у советских инженеров-геологов понимание задач и средств инженерной геологии. Взглядам Ф. П. Саваренского в основном следовали авторы последующих учебников по инженерной геологии. Преподавание инженерно-геологических дисциплин (механики грунтов, грунтоведения, технической мелиорации) было организовано в ряде горных, политехнических и автодорожных вузов.

Накопленный материал о составе, строении и свойствах отдельных генетических типов пород позволил приступить к составлению специальных почвенно-грунтовых карт и профилей для северо-восточных районов СССР (Н. И. Прохоров, В. В. Охотин и другие, 1923 г.) в связи с дорожным строительством.

При строительстве первых крупных гидротехнических сооружений была разработана методика составления специальных геотехнических профилей (Н. Н. Маслов, Н. М. Никифоров, 1937 г.), которые в технической документации были основными.

Необходимой основой составления карт и профилей является инженерно-геологическая генетическая классификация горных пород. Первая такая классификация была разработана основателем московской школы геологов А. П. Павловым в 1925 г. [1] Его принцип деления пород по силам сцепления нашел отражение в более поздних классификациях Ф. П. Саваренского (1939) и В. А. Приклонского (1943). Последними были учтены петрографические особенности пород и важнейшие физико-механические свойства, но выделить группы пород, близкие по генезису не удалось. Такое же положение с разработкой классификации создалось в США и Германии (К. Кейл, 1954 г.). Объяснялось оно недостаточной изученностью как физико-механических свойств отдельных типов пород, так и процессов их формирования.



В. А. Приклонский

В 1930-х годах ученые приступили к разработке двух проблем: методики составления инженерно-геологических карт и методов определения основных физико-механических свойств пород.

В ряде стран были разработаны методы получения непосредственных характеристик прочности грунтов в полевых условиях и отбора проб грунта с ненарушенной структурой для лабораторных исследований. К 1935 г. было разработано несколько типов пенетрометров: шведский, датский, голландский и американский, а к 1945 г. была решена проблема отбора проб глинистых грунтов с ненарушенной структурой и песков, залегающих ниже уровня грунтовых вод (К. Терцаги и Р. Пек, США; А. Бишоп, Англия).

В СССР получили дальнейшее развитие методы лабораторного изучения свойств горных пород. Установленные расхождения между данными, полученными в лабораторных и полевых условиях, особенно для грунтов глинистых способствовали усилению разработки методов полевых исследований и наблюдений за поведением выстроенных сооружений. Встал вопрос о технике полевых исследований.

Значительные успехи были достигнуты в 1930-х годах в механике грунтов благодаря работам советских ученых Н. М. Герсеванова, Н. А. Цытовича и американского ученого К. Терцаги. Основное внимание их было направлено на дальнейшее развитие теории прочности грунтов, определяющей разработку методов получения прочностных характеристик. Толчком к ускоренному развитию механики грунтов послужил и бурный планомерный рост промыш-

[1] Классификация опубликована в работе Л. Н. Бернацкого «Условия устойчивости земляных масс». М., Транспечать, 1925.

ленного строительства и появление новых конструктивных форм устройства оснований и фундаментов. Было положено начало планированию инженерно-геологических исследований.

Выявление разнообразия геологических и геохимических процессов и исключительного значения их влияния на свойства грунтов Ф. П. Саваренский, Г. Н. Каменский, И. В. Попов, В. А. Приклонский, М. М. Филатов, В. В. Охотин, Е. М. Сергеев и др.) способствовало постепенному стиранию границ между грунтоведением, инженерной геологией и механикой грунтов. Это позволило отказаться от использования в механике грунтов моделей, не отвечающих физико-химической природе и структурным особенностям грунтов.

Новый принцип подхода к изучению механики грунтов был изложен в капитальном труде Н. М. Герсеванова «Основы динамики грунтовой массы» (1931). Он дал глубокий анализ противоречивости процесса взаимодействия элементов, слагающих грунт и находящихся в непрерывном движении; рассмотрел факторы, определяющие динамику процессов в грунтах и ряд условий, позволяющих избежать разрушения основания, в частности условия, при котором можно избежать разжижения водонасыщенного грунта под фундаментом с выбрационной нагрузкой.

Обогащение физических исходных положений механики грунтов ускорило преодоление узости, господствовавшей в XIX в. и начале XX в. в теории статики сыпучей среды, рассматривающей грунт только в состоянии предельного равновесия. Н. М. Герсеванов обосновал необходимость различать три последовательно наступающие стадии процесса деформации грунта под действием постепенно возрастающей нагрузки: уплотнения, сдвигов и разрушения, что способствовало разработке новых методов определения сжимаемости грунтов, а также введению в практику проектирования новых методов расчета устойчивости оснований не по предельным напряжениям, а по предельным деформациям.

Изучение физического состояния, химического состава и роли воды в горных породах (растворов, включений, адсорбированной и капиллярной воды) привело инженеров-геологов к необходимости изучения и учета состава, структурных особенностей, свойств и роли поровой и связанной воды в глинистых грунтах.

В 1935—1945 гг. в США и Голландии были разработаны методы измерения давления поровой воды в глинистых грунтах, что имело большое практическое значение, особенно для строительства метрополитенов.

Большую роль в развитии инженерной геологии сыграл Международный конгресс по механике грунтов, основаниям и фундаментам, первая сессия которого состоялась в 1936 г. в Кембридже (США, штат Массачусетс). Президентом его был избран американский ученый К. Терцаги. Доклады касались почти всех вопросов, изучаемых в инженерной геологии, всего было заслушано 250 докладов от 36 стран мира (США — 57 докладов, Австрия — 19, Голландия — 16, СССР — 13 и т. д.).

Во время второй мировой войны международные связи инженер-геологов были практически прерваны. Очередная конференция была созвана только через 12 лет в Голландии (1947 г., Роттердам).

Анализируя состояние и успехи механики грунтов в США, Швеции, Голландии, Бразилии, президент конгресса К. Терцаги умолчал о достижениях этой науки в СССР. Он отметил, что исследования грунтов в странах Западной Европы заключались преимущественно в изучении важнейших свойств грунтов лабораторным путем, что период этот закончился и настало время комплексного использования точных наук в геологии вообще и инженерной геологии в частности.

В послевоенный период инженерная геология получила дальнейшее развитие благодаря успехам в смежных областях естествознания. Основным руководящим положением инженерной геологии в Советском Союзе и ряде других стран стало положение о том, что качественные изменения грунтов обусловлены структурными изменениями, которые, в свою очередь, определяются геологической историей района.

Отечественная война замедлила темпы развития науки, однако способствовала появлению новых направлений, в частности военной инженерной геологии. В СССР проводятся изыскания на местах размещения перебазированных в глубь страны заводов и фабрик и работы, связанные с восстановлением разрушенных городов, ГЭС и дорог.

В послевоенные годы расширение гидротехнического и ирригационного строительства определило развитие инженерно-геологических исследований (по проекту «Большая Волга», на гидроузлах Днепра, по Туркменскому и Каракумскому каналам, на реках Сибири — Ангаре, Оби, Амуре и др.). В практическую стадию перешла проблема разработки месторождений Курской магнитной аномалии открытым способом. Возобновились работы по изучению оползней и принятию мер по борьбе с ними, особенно на участках создаваемых водохранилищ (Емельянова, 1956).

В связи с этим получили дальнейшее развитие методы расчета скоростей размыва берегов водохранилищ. Метод «природных аналогов», или «сравнительно-геологический», позволил получить качественную и количественную оценку переработки берегов и способствовал дальнейшей разработке метода научного предвидения — инженерно-геологического прогноза (Г. С. Золотарев и Л. Б. Розовский).

Инженерно-геологические изыскания, начатые в горных областях Западной и Восточной Сибири для гидротехнических сооружений, дорог и промышленных объектов, привели к формированию нового направления — инженерно-геологическому изучению скальных пород (Семенов, 1959).

В области грунтоведения широко развивались региональные исследования глинистых пород и отдельных генетических типов, на необходимость изучения которых как характерных природных комплексов указывал еще Ф. П. Саваренский. Это были работы Лаборатории гидрогеологических проблем (В. А. Приклонский и др.). В Московском университете внимание исследователей было сосредоточено на выявлении роли отдельных факторов и условий в формировании свойств пород: роль и виды связанной воды, влияние процессов выветривания, магнитного поля, химико-минералогических и структурных особенностей на свойства грунтов (Е. М. Сергеев). Другим направлением работ кафедры инженерной геологии и грунтоведения (МГУ) было региональное изучение инженерно-геологических условий трассы Туркменского канала, долины р. Оби, отдельных областей Западной Сибири, Красноярского края, долины р. Амура, района Норильска (И. В. Попов, Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская и др.).

Дальнейшее развитие получили исследования в области технической мелиорации грунтов, разрабатывались теоретические основы физико-химического направления, методы укрепления грунтов различными вяжущими материалами и методы кольматации (С. С. Морозов, Б. А. Ржаницын, В. М. Безрук).

Большое количество исследований выполнено для лёссов и лёссовидных пород. Разработаны основы механики лёссовидных пород, предложены методы изучения свойств лёссов и лёссовидных пород и улучшения их свойств (Ю. М. Абелев, А. М. Дранников, М. Н. Гольдштейн, Н. Я. Денисов, Г. М. Ломизе и др.). Изданы многочисленные труды по этим вопросам, составлена инженерно-геологическая карта просадочных лёссовых пород СССР.

Для послевоенного периода, особенно последних 15-ти лет, характерно коренное перевооружение лабораторной базы и оснащение ее новейшими средствами физики, позволившими перейти к количественной оценке состава, структурных особенностей и свойств пород.

Новым направлением в инженерной геологии является изучение свойств пород и их поведение в массиве, с учетом сложного строения последних, наличия нарушения сплошности и напряженного состояния (Г. С. Золотарев и др.).

Изучение физических и механических свойств рыхлых пород получило дальнейшее развитие в направлении исследования их реологических особенностей и исследований с позиций физико-химической механики. Работами по выявлению природы прочности глинистых пород установлено, что последняя определяется физико-химическим взаимодействием молекулярных и электростатических сил, максимальное проявление которых возможно только при оптимальных условиях (Е. М. Сергеев). Развивая теоретические представления о физико-химической природе глинистых пород, их структуре и текстуре, о характере жидкой фазы и коллоидной составляющей, советские исследователи пришли к более правильному пониманию процессов, протекающих в глинистых породах под влиянием диагенетических факторов и возводимых на этих породах сооружений. Исследования И. В. Попова, Е. М. Сергеева, Н. Я. Денисова, И. М. Горьковой и других имели большое значение не только для инженерной геологии, но и для литологии. Особенно большое значение имели эти исследования для одного из важнейших разделов инженерной геологии — технической мелиорации грунтов.

В области инженерной геодинамики получили развитие теория оползневых процессов (Е. А. Емельянова), методы моделирования природных процессов, особенно факторов устойчивости склонов, напряженного состояния пород в склонах и других (МГУ, ВСЕГИНГЕО, Институт горного дела, Гидропроект, МГРИ, Лаборатория инженерной геологии АН Армянской ССР). Разработаны новые методы изучения склонов: структурно-трещинный анализ и анализ напряженного состояния массивов. Даны рекомендации по борьбе с оползнями. Разработаны стационарные методы наблюдений за склонами.

С целью комплексного изучения современных инженерно-геологических процессов в 1964 г. стационарные оползневые станции Министерства геологии СССР, созданные в 1930-х годах, были реорганизованы в инженерно-геологические. В 1960-х годах ученые уделяли много внимания проблемам формирования и устойчивости горных склонов (МГУ) в связи с проектированием и строительством гидротехнических сооружений нового типа.

Благодаря успешному изучению коллоидных свойств рыхлых пород при их взаимодействии с инженерным сооружением созданы представления о коллоидной природе связей в лёссовых породах, о просадочности лёссов как о процессе, вызванном нарушением их структуры. Большую роль в понимании природы просадочности лёссовых грунтов сыграли методы минералогии и петрографии.

Дальнейшее развитие получили региональная инженерная геология и методика инженерно-геологического картирования (И. В. Попов и др.). Достигнуто некоторое единообразие при составлении инженерно-геологических карт, которые включены в комплекс карт государственного геологического картирования. В 1965 г. начато издание 5-томной монографии И. В. Попова «Региональная инженерная геология СССР», а с 1969 г. — многотомной монографии «Инженерная геология СССР».

Инженерная геология превращается в комплексную естественно-историческую науку. Однако в истории инженерной геологии были моменты, когда отдельные ученые пытались подменить ее термином «геотехника», который

впервые употребил в 1925 г. Л. Н. Бернацкий, заимствовавший его у шведских авторов и понимавший под ним науку или раздел строительного искусства, наиболее тесно соприкасающийся с геологией. В этом смысле геотехнику и отношение ее к инженерной геологии понимает в настоящее время немецкий ученый К. Кейль, выпустивший пособие «Инженерная геология и геотехника» (1961). Монографические работы и учебники по инженерной геологии, изданные в СССР в 1940—1960-х годах принципиально отличались от издававшихся в это же время за границей под названием «Инженерная геология» (США, Норвегия, Швеция и др.).

Характерный момент в инженерной геологии послевоенного периода — организационное оформление ее в социалистических странах: Польше, Чехословакии, Болгарии, Венгрии и других, чему способствовали обмен специалистами, стажерами и подготовка в СССР специалистов для социалистических стран.

Как в СССР, так и в других странах в последние годы успешно развивается новое направление — инженерная геология крупных городов (Ф. В. Котлов и др.).

В СССР изданы учебники, методические руководства, труды или расширенные тезисы докладов на совещаниях, созывавшихся по разным разделам инженерной геологии. Проектные и научно-исследовательские институты выпустили многотомные серии сборников и монографий по вопросам инженерной геологии.

Значительную помощь в предвидении дальнейшего развития инженерной геологии оказывает исторический анализ ее развития. Нужно сказать, что в последние годы создано новое направление — история инженерной геологии, позволяющая проследить основные пути развития инженерной геологии и основных ее направлений.

По мере того, как человек все более становится хозяином природы, все более вмешивается в ее жизнь и изменяет ее течение в нужном ему направлении, значение сознательно вызванных инженерно-геологических процессов с помощью специальных мероприятий будет все больше и больше возрастать. Человек в своих интересах будет изменять внешнюю оболочку литосферы и биосферы, превращая ее в новую, возникновение которой предвидел В. И. Вернадский, назвавший ее «ноосферой» (оболочкой разума). Инженерная геология как наука об инженерно-геологических процессах и свойствах пород, изменяемых человеком, уже сейчас сможет стать одним из разделов рождающейся новой науки о «ноосфере».

МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

Территория, на которой распространена многолетняя мерзлота в северном полушарии, измеряется 147,2 млн. *км*² (24% суши), почти полностью распределялась между СССР и Северной Америкой (Аляска и север Канады). Широкое распространение многолетней и сезонной мерзлоты и создаваемые ею трудности в вовлечении северных стран в орбиту экономической деятельности человека вызвали к жизни во второй четверти XX в. новую отрасль геологических знаний — мерзлотоведение («геокриология», по П. Ф. Швецову и Л. А. Мейстеру, и «криопедология», по К. Брайену, США).

Основоположником этой науки не только в СССР, но и за рубежом по праву считается русский ученый М. И. Сумгин. Под его руководством большой коллектив его учеников и ученые смежных наук (физики, теплофизики, химии, геологии, почвоведения, грунтоведения, географии) в 1925—1930 гг. заложили организационные основы мерзлотоведения. Это было обу-

словлено ускоренными темпами развития народного хозяйства после победы в России Великой Октябрьской социалистической революции. В 1927 г. вышла в свет основополагающая работа М. И. Сумгина «Вечная мерзлота почвы в пределах СССР».

Развитие мерзлотоведения в СССР и за рубежом (в США и Канаде) шло различными путями. В начале первой пятилетки (1930 г.) по инициативе В. И. Вернадского, В. А. Обручева, М. И. Сумгина в системе АН создается комиссия по изучению вечной мерзлоты, которая в 1936 г. была преобразована в Комитет по вечной мерзлоте. В 1939 г. на базе комитета постановлением Совета народных комиссаров СССР был создан первый в мире Институт мерзлотоведения, который возглавили В. А. Обручев и М. И. Сумгин. Институту были подчинены Мерзлотная лаборатория и четыре стационарных мерзлотных станции: в Игарке, Якутске, Анадыре, Воркуте.

В 1940 г. в СССР коллективом ведущих мерзлотоведов во главе с М. И. Сумгиным было издано руководство «Общее мерзлотоведение», которое до настоящего времени является учебником для высших школ и не имеет пока равного себе в мировой литературе. В эти же годы русскими учеными были заложены основы мерзлотной съемки (Ф. В. Тумель, И. Я. Баранов, В. К. Яновский) и методики производства мерзлотных исследований. В дальнейшем этому вопросу уделено большое внимание в трудах Я. К. Соловьева, А. И. Попова, П. Ф. Швецова, В. А. Кудрявцева и др.

Установленный факт резкого изменения электрических, механических, теплофизических свойств многолетнемерзлых пород повлек за собой разработку геофизических методов их изучения. С 1930-х годов началась разработка лабораторных методов исследования электрических свойств мерзлых пород (А. А. Петровский, А. Г. Акимов, Б. Н. Достовалов, А. А. Ананян) и полевых электрометрических методов (ондометрия и метод постоянного тока). В 1940-х годах А. Т. Акимов, Б. Н. Достовалов и другие исследователи создали теорию мерзлотной электрометрической съемки методом сопротивлений.

Последнее, наряду с геологическими методами, способствовало расширению региональных исследований, начатых в связи с проектированием и строительством различных сооружений в северных районах нашей страны. Региональные исследования дали богатый материал по истории развития многолетнемерзлых толщ и способствовали дальнейшему развитию теории М. И. Сумгина о деградации мерзлоты.

В инженерном мерзлотоведении были разработаны принципы и методы строительства и эксплуатации сооружений в условиях распространения многолетнемерзлых пород.

Промерзающие и мерзлые породы с самого начала рассматривались советскими учеными как природные сложные многокомпонентные тела, находящиеся в полном взаимодействии с окружающей средой и изменяющиеся под влиянием изменения термодинамических параметров Земли. Основой при разработке методов изучения физико-химических процессов и свойств промерзающих и мерзлых пород явились работы В. И. Вернадского и М. И. Сумгина. Наиболее быстрое развитие в эти годы получили методы изучения физико-химического состояния и свойств мерзлых пород, а также процессов, в них протекающих (грунтоведческое направление), в особенности процессов миграции воды и ее фазовых превращений в лед.

В 1930—1940 гг. в СССР для изучения процессов промерзания пород и почв была начата разработка методов термометрических наблюдений и получения приближенных решений задач промерзания влажных пород (С. С. Ковнер, 1933 г.; Л. С. Лейбензон, 1939 г.; Л. И. Рубинштейн, 1947 г.). Зарождалось теплофизическое направление. При термодинамическом под-

ходе к процессам фазовых превращений воды в промерзающих породах необходимо было установить показатели, характеризующие состав и свойства мерзлых и промерзающих пород в зависимости от фазового состава воды и ее миграции.

Изучение многолетнемерзлых пород в США и Канаде в начале XX в. проводилось эпизодически, обычно при изучении геологических условий золотоносных районов Северной Америки. Основы современных исследований сезонного промерзания почв были заложены в 1913—1922 гг. Г. Буюкосом в Сельскохозяйственном колледже штата Мичиган.

Если не считать исследований сезонного промерзания почв в связи с дорожным строительством, проводившихся Комитетом по дорогам (Highway Research Board), можно сказать, что в США и Канаде до второй мировой войны не было организованных систематических мерзлотных исследований. Только в 1939 г. вышла в свет работа Г. Кресси, посвященная мерзлоте Сибири, в частности района г. Игарки, написанная по русским источникам.

В 1930—1940 гг. в США изучение многолетнемерзлых пород было начато в Управлении корпуса военных инженеров округа Святого Павла (в том числе Аляски), где был создан отдел по изучению мерзлоты под руководством Х. Менжера. В задачу отдела входило изучение русской литературы по мерзлотоведению и разработка метода районирования мерзлотных условий. Полевые исследования и экспериментальное строительство проводились мерзлотной станцией вблизи Фербенкса.

Во время второй мировой войны в связи со строительством стратегических объектов на севере США и в Канаде мерзлотные исследования были организованы в ряде университетов: Гарвардском, Миннесотском, Пурдью в Лафайетте и других, где были созданы мерзлотные лаборатории и начата разработка методов аэрофотосъемки (1942 г.). Специализированные лаборатории были созданы в системе армии США: лаборатория в Бостоне, станция на Аляске, исследовательское отделение (Корпуса военных инженеров) в Сан-Пауло и т. д.

Мерзлотные исследования в США и Канаде во время войны носили эмпирический характер. Основной целью этих исследований было решение частных задач.

В связи с освоением Аляски и севера Канады в послевоенный период мерзлотоведение в Канаде и Аляске развивается более быстрыми темпами. Организуются специализированные учреждения: Лаборатория снега, льда и мерзлых грунтов при Корпусе военных инженеров (1945 г.); Арктический институт Северной Америки в Монреале и Мерзлотная станция на мысе Барроу (1946 г., по соглашению правительства США и Канады); Лаборатория арктического строительства в Бостоне (1956 г.) и др. Началась разработка отдельных теоретических проблем, важных для решения практических задач.

В 60-х годах разработкой проблем мерзлотоведения и гляциологии занялись ученые правительственных, военных и общественных организаций, а также ряда университетов и институтов. Основной координирующей организацией в США является Консультативный совет по исследованиям в строительстве Национального исследовательского совета Национальной академии наук, а по вопросам дорожного строительства на мерзлых грунтах — Совет по дорожным исследованиям Национального исследовательского совета Национальной академии наук.

В Канаде координирующей организацией является Объединенный Комитет снега и механики грунтов Национального исследовательского совета Канады.

Для мерзлотных исследований 1960-х годов в США и Канаде характерна комплексная разработка проблем естественно-исторического и инженерного направлений. С этой целью в США создан Научный центр по теоретическим и инженерным исследованиям в северных районах Армии США (Cold Regions Research and Engineering Laboratory, или CRREL) в Гановере, с рядом лабораторий мерзлотных камер и двумя полевыми станциями: на Аляске (близ Фербенкса) и в Мичигане (Хоутон). В системе CRREL проводятся исследования процессов формирования мерзлых толщ пород, их распространения, физических и механических свойств снега, льда и мерзлых пород; изучаются теплофизические процессы в системе атмосфера — снег — порода; разрабатываются методы региональных мерзлотных исследований с использованием геофизических методов и аэрофотосъемки; ведутся наблюдения за выстроенными сооружениями. Подробное описание различных организаций, занимающихся изучением мерзлых пород, снега, льда и разрабатывающих методы строительства в арктических условиях, дано в отчетах делегаций советских ученых в США и Канаде в 1963, 1965 и 1967 гг.

Послевоенный период в советском мерзлотоведении был очень плодотворным. Перед наукой стала проблема плановой подготовки кадров — мерзлотоведов. Впервые такая подготовка была начата на геологическом факультете МГУ с момента организации кафедры мерзлотоведения (1953 г.) под руководством профессора В. А. Кудрявцева — первой кафедры не только в нашей стране, но и за рубежом.

Развитие мерзлотоведения после 1945 г. шло в основном по шести направлениям: теплофизическое, геолого-петрографическое, региональное, грунтоведческое (общее), инженерное и методики мерзлотных исследований.

В теплофизическом направлении усилия ученых были направлены на получение точных решений задачи промерзания пород, с учетом тепломассообмена и льдовыделения в спектре температур и температурной сдвижки. Получены первые решения задачи, связывающей процесс промерзания пород с радиационно-тепловым балансом на поверхности Земли (Институт мерзлотоведения АН СССР им. В. А. Обручева, Якутский институт мерзлотоведения, ВСЕГИНГЕО, кафедра мерзлотоведения МГУ). Предложены методы расчета задач тепломассообмена с применением электронно-счетных машин (1964—1966 гг.).

Как показала первая Международная конференция по мерзлотоведению в г. Лафайетте (1963 г., штат Индиана), внимание исследователей привлекает четыре группы вопросов: 1) сезонное промерзание и протаивание пород (граничные условия, методы определения глубины сезонного промерзания и протаивания); 2) температуры многолетнемерзлых пород в условиях естественного залегания; 3) температурный режим оснований сооружений (расчетные методы, данные опытного строительства); 4) регулирование теплового режима пород. По первому вопросу были высказаны различные мнения. Зарубежные специалисты Ф. Дж. Зенгер (консультант CRREL), С. Скавен-Хауг (Геотехническое отделение железных дорог Норвегии) и другие считают, что внешним, определяющим глубину промерзания и протаивания фактором является сумма градусов-часов соответственно в зимний и летний периоды. Другого мнения придерживаются советские специалисты и некоторые зарубежные, в частности Р. Ф. Скотт (Калифорнийский политехнический институт), предлагающие при определении глубины промерзания и протаивания пород учитывать полный тепловой баланс на поверхности раздела грунт — атмосфера или снег — атмосфера (радиационный баланс со всеми его составляющими, затраты тепла на испарение и конденсацию и конвективную составляющую внешнего теплообмена). Кроме того, советские ученые (В. А. Кудрявцев, П. Ф. Швецов и другие) обратили внимание

на прогноз изменения глубины промерзания и протаивания под влиянием хозяйственной деятельности и указали на необходимость учета крайних значений климатических факторов. В соответствии с высказанным имеются различия и в методах определения глубины промерзания и протаивания пород. Зарубежные специалисты в большинстве своем продолжают придерживаться упрощенных модификаций формулы Стефана; советские специалисты совершенствуют и применяют методы расчета, в которых учитывается теплообмен в породах ниже границы промерзания или протаивания (В. С. Лукьянов, В. А. Кудрявцев и др.).

Успешная разработка в СССР проблемы прогнозирования температурного режима оснований сооружений (Г. В. Порхаев, В. С. Лукьянов) устанавливает за советским мерзлотоведением еще один приоритет.

В послевоенный период в СССР работами А. М. Пчелинцева было положено начало структурно-петрографическому направлению в мерзлотоведении. П. И. Шумским разработан петрографический метод изучения глетчерных и подземных льдов. Разработаны также классификационные схемы криогенных текстур и структур (А. И. Попов, П. Ф. Швецов, А. М. Пчелинцев, П. И. Мельников и др.).

Изучению подземных льдов уделяется большое внимание в Канаде (Дж. Р. Маккей, Университет Британской Колумбии), США (Т. Л. Певе, университет, Аляска). По вопросу происхождения повторно-жильного льда высказано две гипотезы: 1) образование в морозобойных трещинах (СССР); 2) образование путем замерзания выдавливаемой воды в усадочных трещинах в период первичного промерзания пород (США, Э. Шенк). Материалами советских исследователей опровергаются большинство положений Э. Шенка.

Следует отметить, что в послевоенный период учеными разных стран (США, Канады, Швеции, Польши) на Шпицбергене были начаты исследования структурных грунтов. Заслуживает внимания моделирование процессов формирования криогенного микрорельефа (1957—1960 гг., А. Яна, Польша; 1963 г., А. Корте, Швеция), направление, которое в СССР пока не развивается.

В настоящее время структурно-петрографические методы исследования стали неотъемлемой частью комплекса работ, входящих в состав мерзлотной съемки, мерзлотно-фациального анализа, в изучение динамики и истории развития мерзлых толщ. Советскими учеными поставлена задача вскрыть общегеологические закономерности формирования многолетнемерзлых толщ с учетом физико-химической природы процессов миграции влаги и теплофизической стороны явления промерзания многолетнемерзлых толщ.

В послевоенный период как советские, так и зарубежные ученые уделяли большое внимание вопросам общего мерзлотоведения (грунтоведческого направления), составляющих основу этой науки. В СССР эти исследования продолжались в Институте мерзлотоведения АН СССР им. В. А. Обручева, где физико-химические процессы и явления в замерзающих и оттаивающих грунтах изучались с позиций химической термодинамики (З. А. Нерсесова, И. А. Тютюнов) и в МГУ (1958—1964 гг., А. А. Ананян) с позиций современной теории строения жидкости.

Исследования по указанным направлениям позволили уточнить теорию миграции влаги в замерзающих грунтах и приступить к изучению реологических свойств мерзлых грунтов на более правильной основе (Н. А. Цытович, С. С. Вялов, Е. П. Шушерина и др.).

Изучение удельной поверхности, активной поверхности и поверхностной энергии позволило советским ученым в 1960-х годах, исходя из молекулярно-кинетических представлений о взаимодействии воды и минеральных частиц,

по-новому объяснить природу этого взаимодействия и дать схему миграции влаги в замерзающих и мерзлых породах.

Уделяя большое внимание фазовому составу и миграции влаги, зарубежные ученые (CRREL, США) допускают модели, значительно отличающиеся от грунтов (например, фарфоровая пластинка) и придают главное значение неизменяемости геометрии пор, а не качественным особенностям минерального скелета мерзлого грунта, как это считают советские ученые.

В этом отношении большую ценность представляют исследования изменения фазового состава воды мономинеральных глин в зависимости от удельной поверхности и ультрапористости (Т. А. Литвинова, МГУ).

Соответственно, в основе теории изучения промерзающих пород, созданной в Канаде (Э. Пеннер), лежат представления о размерах и геометрии пор в породах, а также о зависимости морозобойного пучения от термодинамических свойств поровой воды и отвода тепла.

Советские ученые (Н. А. Цытович и др.) считают, что в таких сложных, многофазных динамических системах, как глинистые породы, процессы фазовых превращений воды в лед зависят в большей степени от минералогического состава твердых частиц, величины обменной способности и природы катионов. Поэтому необходимо в различные формулы вводить показатели, характеризующие не только дисперсность и пористость грунта, но и физико-химическое состояние поверхности грунтовых частиц.

В области изучения природы и свойств незамерзшей воды в промерзающих и мерзлых породах как в нашей стране, так и за рубежом остается без ответа вопрос: может ли пленка выдерживать определенное напряжение сдвига без текучести? Решение этого вопроса, также как существование гидравлического или термического «начального градиента» будет иметь большое значение при решении многих вопросов мерзлотоведения и инженерной геологии.

Дальнейшее развитие получала в СССР методика мерзлотных исследований. Усовершенствована методика комплексной геофизической мерзлотной съемки (Б. Н. Достовалов, 1956 г.), разработаны основы мерзлотно-инженерно-геологической и мерзлотно-гидрогеологической съемок, составлены карты на общепринятой геологической и неотектонической основах, на которых мерзлотная специфика дана в виде дополнительной нагрузки; создана методика мерзлотного прогноза (В. А. Кудрявцев и др.). Широкие региональные исследования многолетнемерзлых пород в СССР позволили создать теорию происхождения и механизма образования различных по генезису многолетнемерзлых толщ.

Основным достижением в области инженерного мерзлотоведения является разработка принципов и методов строительства в промерзающих и мерзлых породах в условиях Крайнего Севера. В СССР дальнейшее развитие получила теория и принципы оттаивающих оснований, за рубежом — теория и принципы сохранения мерзлоты с помощью устройства высокого подполья, с естественным или искусственным вентилированием (Канада, США).

В последние годы в нашей стране и за рубежом положено начало агробиологического мерзлотоведения.

В заключение следует сказать, что ведущая роль в мировой науке остается за советским мерзлотоведением. Эта оценка была высказана и в ряде выступлений, в частности, доктора К. Вудса (США) на Международной конференции по мерзлотоведению в г. Лафайетте (штат Индиана), в 1963 г.

Для обобщения накопленного в разных странах фактического материала в области геологии, выработки единой методики составления геологических карт и индексации пород, а также синхронизации все более дробных единиц местных стратиграфических шкал потребовалось создание постоянного международного органа. В отличие от других наук геология в передовых странах мира в последней четверти XIX в. не могла развиваться и двигаться вперед без регулярных международных научных совещаний геологов. Различного рода научные совещания геологов в пределах одной страны стали недостаточными. Использование огромного накопленного фактического материала в целях теоретических обобщений, охватывающих земную кору в целом, затруднялось.

Поэтому по инициативе геологов ряда стран в 1876 г. в г. Буффало, штат Нью-Йорк (США), образовался Учредительный комитет для организации Международного геологического конгресса. Комитет обратился за содействием к французскому геологическому обществу, которое в ответ на эту просьбу образовало Организационный комитет по созыву конгресса.

I сессия Международного геологического конгресса собралась в 1878 г. в Париже. В Совет I сессии конгресса вошли 11 человек от Учредительного комитета, 34 человека от Организационного комитета и 42 человека от геологических обществ и учреждений различных стран мира — главным образом президенты геологических обществ и директора правительственных геологических служб.

От России на I сессии официальной делегации не было. Но по личной инициативе семь человек были членами конгресса и участвовали в работе сессии. Один из них — Валериан Иванович Мёллер (1840—1910 гг.) — был избран в Бюро Совета конгресса. В. И. Мёллер был профессором, а позже директором Петербургского горного института, большим знатоком стратиграфии каменноугольных и пермских отложений, а в области палеонтологии — специалистом по трилобитам, брахиоподам и фораминиферам. На основании изучения фораминифер и других организмов в 1878—1880 гг. Мёллер обосновал трехчленное деление отложений каменноугольного периода. На I сессии Международного геологического конгресса Мёллер вскрыл ошибочность схем основных подразделений карбона Западной Европы и Северной Америки, отражавших лишь фациальный характер отложений, и предложил, исходя из стратиграфических соотношений каменноугольных отложений России, свою схему, получившую на сессии общее признание.

На I сессии было установлено, что последующие сессии будут собираться через каждые 3—4 года, как они и собирались, за исключением двух длительных перерывов, связанных с первой и второй мировыми войнами.

На первых пяти сессиях работа проходила в форме пленарных заседаний. На VI сессия в 1894 г. впервые были организованы четыре секции: общей геологии; стратиграфии и палеонтологии; минералогии и петрографии; прикладной геологии. Впоследствии название секций менялось, а количество их росло. На VIII сессии в 1900 г., в частности, секция общей геологии стала называться секцией общей геологии и тектоники, секция прикладной геологии — секцией прикладной геологии и гидрогеологии. В 1922 г. на XIII сессии было уже десять секций. Еще позже секционные заседания стали преобладать над пленарными.

Со временем все больше расширялась практика постоянных научных тематических комиссий, работавших на протяжении ряда лет (до 10—15 лет и более). Всего таких комиссий, созданных в разное время, за прошедшее время существования конгресса было более 40. По инициативе русских геологов были, в частности, созданы четыре комиссии: по геофизике, геотер-

мии, петрологии, минералогии и геохимии, а также по определению геологического возраста радиологическими методами.

На I сессии в 1878 г. во Франции официальными языками конгресса были установлены французский, английский и немецкий. Через 48 лет в 1926 г. на XIV сессии дополнительно официальными языками были признаны также итальянский и испанский. На XVII сессии в 1937 г, было предложено и на XVIII сессии в 1948 г. утверждено признание русского языка официальным языком конгресса.

В 1878 г. на I сессии было решено, что основной целью конгресса является «установление правил составления (геологических) карт, геологической номенклатуры и классификации». Этот вопрос занимал центральное место в работе конгресса на протяжении почти четверти века — от I до VIII сессии, с 1878 по 1900 г. На II сессии (1881 г.) в Болонье были выработаны основные, ныне общепринятые геологические термины и условные обозначения, которыми пользуются до настоящего времени при составлении геологических карт. Впервые определено и принято в международном масштабе содержание таких терминов, как: горная порода, формация, геологическая система. Определена хронологическая терминология (эра — период — эпоха — век), стратиграфическая терминология (система — отдел — ярус), а также цветные и буквенные обозначения пород на карте. За успешное решение вопроса об установлении единых для всех стран условных обозначений на геологических картах были присуждены премии русскому геологу А. П. Карпинскому, швейцарскому геологу Гейму и швейцарскому доктору наук (из Лозанны) Маллару. А. П. Карпинский в работе первых пяти сессий принимал участие заочно. Впервые он присутствовал на конгрессе на VI сессии в 1894 г. в Швейцарии.

Большую роль в разработке общепринятой геологической терминологии и в определении хронологических и стратиграфических подразделений сыграли русские геологи С. Н. Никитин и Ф. Н. Чернышев, которые принимали активное участие в ряде сессий, начиная с третьей.

С течением времени задачи конгресса менялись в соответствии с развитием геологической науки. В статуте (в уставе) конгресса, пересмотренном и принятом на XIII сессии в 1922 г., указывалось уже, что «целью Геологического конгресса является содействие развитию исследований, связанных с изучением Земли, как теоретических, так и практических». Отсюда видно, как расширились задачи конгресса за прошедшие годы.

На II сессии было принято решение о коллективном составлении геологической карты Европы в масштабе 1 : 2 500 000 на 49 листах. Половина этой работы пришлась на долю русских геологов, поскольку им предстояло составить карту восточной половины Европы. Чтобы справиться с этой задачей, были мобилизованы все геологические силы России. Большую организационную роль при этом сыграл Геологический комитет, учрежденный в России в 1882 г.— на следующий год после II сессии конгресса, и особенно А. П. Карпинский.

На III сессии конгресса в 1885 г. в Берлине рассматривались уже первые готовые листы геологической карты Европы, составленные геологами различных стран. О русских листах этой карты докладывал С. Н. Никитин.

К XI сессии, происходившей в 1910 г. в Стокгольме, международная геологическая карта Европы была издана уже в объеме 40 листов из 49. К 1912 г. работа над листами, относящимися к Европейской части России, была закончена. На XI сессии было принято решение о коллективном составлении геологической карты мира. В комиссию по составлению этой карты из русских геологов был избран Ф. Н. Чернышев. Русские геологи активно включились в эту работу.

Надо отметить большую роль в работах конгресса профессора Московского университета А. П. Павлова, который был участником восьми сессий конгресса: III, IV, V, VI, VII, VIII, IX и XIV. Участие А. П. Павлова в работах конгресса способствовало тому, что сведения русской науки о мезозойских отложениях и фауне мезозоя стали более доступны для геологов Западной Европы и Америки. А. П. Павлов выполнил ряд сводных работ по параллелизации русских мезозойских отложений с отложениями других стран. В конце 1880 — начале 1890-х годов вышли из печати работы А. П. Павлова и С. Н. Никитина по вопросам параллелизации русских, западноевропейских и американских мезозойских отложений. На XIV сессии, происходившей в 1926 г. в Мадриде, Павлов сделал доклад о континентальных плиоценовых и плейстоценовых отложениях Восточной Европы.

Большое значение в развитии геологической науки имела VII сессия, происходившая в 1897 г. в Петербурге. Во время сессии были организованы многочисленные экскурсии в Крым, на Кавказ, Урал и т. д. К сессии было издано 34 путеводителя общим объемом 700 страниц. По словам русского геолога А. Н. Карножицкого, это издание было в то время лучшим и наиболее популярным руководством по геологии России. Подчеркивая общее значение VII сессии, А. Н. Карножицкий писал: «Положительно я прихожу к убеждению, что международные конгрессы скорее приведут человечество к давно желанному, почти утопическому миру народов, чем самая энергичная переписка посольств и министерств всевозможных стран» (1897, стр. 55).

Интересно также, что на совете VII сессии было принято предложение французского палеонтолога Годри о том, чтобы ходатайствовать перед правительствами всех стран, принимающих участие в конгрессе, о введении преподавания геологии в средней школе.

После VII сессии русская геологическая наука заняла одно из первых мест в мире, наряду с геологией передовых стран Европы и Америки. В иностранной литературе русским геологическим работам стало придаваться большое значение; на них ссылались при трактовке спорных и запутанных вопросов общей геологии.

Четыре сессии (с IX по XII), состоявшиеся в XX в. еще до первой мировой войны, были посвящены таким вопросам геологии, как происхождение кристаллических сланцев, гипотеза шарьяжей, климаты геологического прошлого, стратиграфия докембрия и др. Как правило, общих решений по этим вопросам принято не было.

Начиная с XI сессии в Стокгольме (1910 г.), в повестку дня сессий стали включаться вопросы о мировых запасах того или иного полезного ископаемого. С одной стороны это были требования развивающейся геологической науки, с другой — более или менее косвенно или прямо сказывались агрессивные требования империалистов крупных стран.

Так, на указанной сессии по инициативе немецких геологов основным вопросом повестки дня была оценка мировых запасов железных руд, хотя тематикой сессии была геология Скандинавских стран. Швеция была в то время страной наибольших в мире подсчитанных запасов железной руды прекрасного качества.

Оргкомитетом XI сессии была проведена большая подготовительная работа по сбору материалов, касающихся запасов железных руд во всем мире. Для России эта значительная по трудоемкости задача была выполнена под руководством геолога К. И. Богдановича. Результаты его подсчетов вошли в изданный конгрессом на немецком языке сборник. В 1911 г. работа К. И. Богдановича была опубликована отдельной книгой на русском языке под названием «Железные руды России». Интересно, что на сессии было высказано предположение о возможности «железного голода», так как подсчи-

танных запасов железа во всем мире с учетом темпов ежегодной добычи оказалось лишь на 60 лет. Работой геологов за истекшие после XI сессии годы внесены очень большие коррективы в тогдашние подсчеты.

На XII сессии, состоявшейся в Канаде в 1913 г., была проведена работа по подсчету запасов углей на земном шаре. Мировая сводка по этому вопросу была издана на английском языке; сводка по России, выполненная коллективом геологов, была опубликована Геологическим комитетом в 1913 г. в виде сборника статей под названием «Очерк месторождений ископаемых углей России».

Большой интерес на канадской сессии вызвал доклад ученика и соратника академика В. И. Вернадского профессора минералогии Я. В. Самойлова о работах по изучению фосфоритов, проводимых в то время в России в широком плане под его общим руководством совместно с геологом А. Д. Архангельским. Я. В. Самойлов предложил включить подсчет мировых запасов фосфоритов в повестку дня следующей сессии.

Мировая война 1914 г. и последующая затем Великая Октябрьская социалистическая революция в России определили в работе Международного геологического конгресса 9-летний перерыв.

Следущая, XIII сессия конгресса собралась лишь в 1922 г. в Брюсселе; немецких и австрийских геологов на этой сессии не было. Советская страна официального приглашения от Оргкомитета также не получила, но в порядке личных международных научных связей четыре советских геолога присутствовали на сессии, в том числе профессор Московского университета Я. В. Самойлов, который сделал доклад на тему «Биолиты». На этой сессии Самойлов повторил свое предложение о подсчете мировых запасов фосфоритов, которое было принято. Подсчет был выполнен к XIV сессии, до которой Я. В. Самойлов не дожил.

Характерно для того времени заявление на сессии французского геолога Э. Маржери о том, что вопрос о мировых сводках полезных ископаемых был выдвинут на X сессии в 1906 г. «группой немецких геологов со скрытой мыслью политического характера», имея в виду подготовку Германии к войне. На сессии пересматривался статут (устав) конгресса. Я. В. Самойлов предложил отложить пересмотр статута до следующей сессии, так как на данной сессии отсутствовали делегации ряда крупных стран, в том числе и Советского Союза. Предложение было отвергнуто, за него голосовало лишь шесть делегатов, и статут был пересмотрен. Интересно отметить, что тогда же, в 1922 г., на ежегодном съезде членов Германского геологического общества было постановлено XIII сессию конгресса на считать международной.

XIV сессия происходила в 1926 г. в Мадриде. Одним из главных был вопрос об итогах подсчетов мировых запасов серных колчеданов и фосфоритов. В изданиях конгресса были напечатаны обзоры по серным колчеданам и фосфоритам СССР группы геологов под общим руководством Я. В. Самойлова, составивших часть сводок мировых запасов этих ископаемых. Кроме того, в трудах сессии были опубликованы доклады П. М. Никифорова по геофизике, В. П. Рентгартена — по тектонике Кавказа, профессора Московского университета А. П. Павлова — по четвертичным отложениям, Н. Н. Яковлева — о пермских отложениях и др.

Это была сессия, в которой советские геологи принимали очень активное участие. Членами сессии являлись 38 советских ученых, из них 20 присутствовали в качестве делегатов. Существенно, что XIV сессия восстановила большую часть международных комиссий конгресса, бездействовавших со времени первой мировой войны. Из советских геологов были избраны: в состав комиссии по геологическим картам — А. П. Карпинский, в реорганизованную палеонтологическую комиссию и в комиссию стратиграфи-

ческого словаря — профессор МГУ А. П. Павлов, в состав вновь организованной комиссии геофизических исследований — М. П. Никифоров.

На XV и XVI сессиях присутствовали соответственно 2 и 4 советских геолога, хотя членами делегации числились 13 и 18 человек. На XV сессии, происходившей в 1929 г. в Претории (Южно-Африканский Союз) одним из важных вопросов был подсчет мировых запасов золота. Обзорные статьи по этому вопросу были получены Оргкомитетом от 45 стран, в том числе и от СССР. Обзоры вышли отдельной книгой на английском языке в 1930 г. XVI сессия происходила в 1933 г. в США, в Вашингтоне. Наряду с различными вопросами геологии на сессии были освещены мировые запасы меди и утверждены все постановления конференции Международной ассоциации по изучению четвертичного периода Европы, состоявшейся в СССР в 1932 г. Сессия решила распустить Ледниковую комиссию.

Международная ассоциация по изучению четвертичного периода Европы была организована в 1928 г.; в этом же году в Копенгагене прошла ее первая конференция. Она получила признание на XV сессии Международного геологического конгресса в 1929 г., вторая конференция ассоциации происходила в 1932 г. в Ленинграде.

От СССР на XVI сессии было четыре делегата во главе с академиком И. М. Губкиным. Всего советскими геологами было представлено 18 докладов. Большое внимание членов конгресса привлек доклад о применении геофизики в решении геологических вопросов. Председателем объединенной геофизической и геотермической комиссии на этой сессии был избран советский делегат П. М. Никифоров.

Особое значение в истории Международного геологического конгресса имела XVII сессия, происходившая в 1937 г. в Москве. Это была одна из наиболее представительных сессий за всю историю конгресса. В ней принимало участие более 2000 человек, из них иностранцев было 490 человек. Значительная часть иностранных делегаций была представлена лично, остальные принимали участие заочно, прислав доклады в письменном виде. Некоторые зарубежные делегации были очень многочисленны: от США — 83 человека, из Англии — 27, Франции — 16 и т. д. Всего было представлено 50 стран. В работе конгресса не участвовали страны с фашистским режимом: Германия, Италия, Португалия.

Президентом сессии был избран И. М. Губкин. Почетным президентом — Председатель ЦИК СССР М. И. Калинин.

Всего на сессию было представлено 750 докладов, из них 600 — советскими геологами; заслушано всего 188 докладов, из которых 120 сделали советские геологи. Остальные представленные, но не заслушанные доклады были опубликованы в трудах сессии. Из всех докладов пленарного заседания сессии выделялся доклад И. М. Губкина о мировых запасах нефти. Чрезвычайно важным и интересным был доклад, заслушанный на объединенном заседании 5-й секции, сделанный академиком В. И. Вернадским на тему о значении радиогеологии для современной геологии.

По предложению советских геологов на этой сессии были созданы две новые комиссии: 1) комиссия по определению геологического возраста радиологическими методами под председательством американского геолога А. Лэйна, заместителем председателя был избран В. И. Вернадский; 2) комиссия по петрологии, минералогии и геохимии под председательством Ф. Ю. Левинсон-Лессинга и при участии А. Е. Ферсмана.

После XVII сессии наступил 11-летний перерыв в связи со второй мировой войной.

Следующая, XVIII сессия собралась лишь в 1948 г. в Лондоне. Ко времени этой сессии многочисленные ранее созданные комиссии опять распались,

как это было между XII и XIII сессиями (1913—1922 гг.), поэтому важной задачей сессии явилось формирование новых или переформирование старых постоянных комиссий конгресса. На сессии работало 12 секций. Советские геологи сделали доклады в секциях по проблемам геохимии и по вопросам метасоматических процессов при метаморфизме. Советская делегация на этой сессии состояла из семи человек. Главой делегации был профессор В. В. Белоусов, который вступительной речью открыл сессию (по положению конгресса сессию открывает глава делегации той страны, в которой происходила предыдущая сессия).

На сессии, в частности, обсуждался вопрос о комиссии по определению геологического возраста радиологическими методами, но решение его было отложено до следующей сессии в связи с тем, что научная тематика, так или иначе связанная с радием, в подавляющем большинстве стран не подлежала опубликованию.

XIX сессия состоялась в 1952 г. в Алжире. На ней присутствовали 975 участников от 78 стран. От Советского Союза членами числились 120 человек, делегация же состояла из 6 человек во главе с Г. В. Богомоловым. Советскими делегатами было сделано 8 докладов на очень разнообразные темы. Доклад Г. В. Богомолова на тему «Геология и гидрология на службе преобразования природы в СССР» был после сессии в Алжире повторен в Париже, где на нем присутствовало около двух тысяч человек. Доклад иллюстрировался специально подготовленным кинофильмом, который после сессии был оставлен для демонстрации в городах Африки.

XX сессия состоялась в 1956 г. в Мексике. Это была очень многолюдная сессия и самая многонациональная — в ней участвовали геологи 113 государств. Работа сессии проходила в 16 секциях, пяти симпозиумах и 13 постоянных комиссиях, обществах и ассоциациях. На сессии было организовано 16 секций: 1) вулканизм кайнозоя, 2) мезозой западного полушария и его мировые корреляции; 3) геология нефти; 4) гидрогеология аридных и субаридных областей; 5) связь между тектоникой и седиментацией; 6) современные идеи происхождения месторождений полезных ископаемых; 7) палеонтология, таксономия и эволюция; 8) плутонические породы и их связь с тектоникой; 9) прикладная геофизика; 10) микропалеонтология; 11) петрография и минералогия; 12) геохимия и геология изотопов; 13) вопросы происхождения современных и древних рифов; 14) прикладная и инженерная геология; 15) геология моря и побережий; 16) различные вопросы геологии.

На симпозиумах были обсуждены вопросы формирования месторождений нефти и газа, распространения и формирования месторождений марганца, палеогеографии и нижней границы кембрийской системы, вопрос о меловой системе и ее мировых корреляционных схемах, о результатах и методике геохимических исследований. Из постоянных научных комиссий и других организаций работали Ассоциация геологических служб Африки и Комиссия интернациональной геологической карты Африки, Комиссия по геологической карте мира, Комиссия авторских резюме, Международный палеонтологический союз, Общество экономической геологии, Межународная стратиграфическая комиссия, Подкомиссия по стратиграфической терминологии, Постоянная комиссия по корреляции системы карру (Гондвана), Комиссия земной коры, Комиссия по вопросу о присуждении премии им. Спендиарова, Комиссия по геологической карте Европы, Комиссия по физико-географической карте мира, Международный комитет по изучению глин.

Советскими геологами на XX сессию было представлено 120 докладов. На сессии присутствовали 52 геолога из СССР во главе с академиком Д. И. Щербаковым.

Из решений XX сессии следует отметить создание при существовавшей ранее Комиссии по геологической карте мира двух подкомиссий: по тектонической карте мира (в масштабе 1 : 10 000 000) и по металлогенетической карте мира. Создано Бюро подкомиссии по тектонической карте мира из девяти человек, в том числе трех советских геологов: академика Н. С. Шатского (председатель бюро), Н. А. Беляевского (член бюро), А. А. Богданова (ученый секретарь бюро). Возрождена деятельность Карпатской геологической ассоциации.

На XX сессии впервые было уделено значительное внимание вопросам геологии моря. Была создана специальная секция морской геологии.

Совет XX сессии конгресса создал новые комиссии — по изучению пустынных и полупустынных районов мира, по изучению Альп и Карпат (последнюю восстановил). Были созданы также Международная ассоциация гидрогеологов и Бюро по рефератам геологических работ.

Совет конгресса на XX сессии принял решение созвать следующую (XXI) сессию в Дании (Копенгаген) в 1960 г.

По предложению советской делегации в программу работ XXI сессии было рекомендовано для обсуждения тринадцать наиболее актуальных тем.

XXI сессия конгресса состоялась в августе 1960 г. в Копенгагене и была самая многочисленная по сравнению с предыдущими. Сессия проводилась группой скандинавский стран. Президентом XXI сессии конгресса был избран профессор минералогии Копенгагенского университета А. Ное-Нюгорда.

От СССР на сессии присутствовали 71 делегат, возглавлял делегацию академик Д. В. Наливкин.

Научные доклады обсуждались по следующим проблемам: геохимические циклы, геологические результаты прикладной геохимии и геофизики, абсолютный возраст дочетвертичных отложений, хронология и климатология четвертичного периода, граница меловых и третичных отложений, дочетвертичная микропалеонтология, стратиграфия и корреляция ордовика и силура, стратиграфия позднего докембрия и кембрия, стратиграфия и корреляция докембрия, морская геология, региональные и структурные проблемы нефтяной геологии, региональная палеогеография, петрографические провинции изверженных и метаморфических пород, гранито-гнейсы, генезис урановых и ториевых месторождений, генезис руд, минералогия и генезис пегматитов, структура земной коры и деформации горных пород, каледонская орогения, прикладная геология, другие вопросы геологии.

В декабре 1964 г. в Нью-Дели (Индия) собралась XXII сессия Международного геологического конгресса, в работе которой приняли участие 2000 делегатов из 87 стран мира. В частности, индийская делегация состояла из 500 человек, советская — из 130, американская из 200 человек. Конгресс впервые за 36 лет своей деятельности проводил очередную сессию в Азии. До и после сессии состоялось 30 научных экскурсий.

Президентом XXII сессии был избран виднейший индийский геолог Д. Н. Вадия.

Центральным организационным вопросом, вынесенным советской делегацией в Совет XXII сессии конгресса, был вопрос о взаимоотношениях Международного союза геологических наук и Международного геологического конгресса.

В результате обсуждения его Совет конгресса рекомендовал комиссиям и ассоциациям войти в состав Международного союза геологических наук, а очередные сессии Международного геологического конгресса проводить под покровительством союза.

Во время XXII сессии конгресса большая организационная и научная работа выполнялась в пяти международных ассоциациях: минералогиче-

ской, палеонтологической, гидрогеологической, Карпато-Балканской и геологических служб Африки, в 15 комиссиях и 12 подкомиссиях конгресса и Международного союза геологических наук.

Особенно плодотворной была работа комиссии по геологической карте мира с ее двумя подкомиссиями по тектонической и металлогенической картам мира. На выставке геологических карт демонстрировалось более 30 авторских макетов новых советских геологических карт и более 200 книг.

На заседаниях Международной геохимической ассоциации впервые обсуждались вопросы кодирования и хранения геохимической информации. По вопросам кодирования геохимической информации был создан специальный комитет: М. Рубо (Франция), Р. Чаудгар (Индия), А. А. Беус (СССР), Девидсон (США).

На XXII сессии были организованы новые геологические ассоциации и комиссии. «*Временная комиссия по генезису рудных месторождений*», возникшая на симпозиуме по постмагматическому рудообразованию в Праге (1963 г.), на совместном заседании членов комиссии и общества экономических геологов была преобразована в постоянную Международную ассоциацию по изучению генезиса рудных месторождений. Ее президентом был избран С. Ракич (Югославия), вице-президентом В. И. Смирнов (СССР) и Ч. Парк (США), а генеральным секретарем Я. Кутина (ЧССР).

В состав этой ассоциации была принята Международная комиссия по рудообразующим растворам (во включениях), в ее состав вошли нациальные секции и отдельные представители 18 стран. Президентом ее был избран Н. П. Ермаков (СССР), вице-президентом Э. Роддер (США), ученым секретарем Г. Дейша (Франция).

Совет конгресса поддержал предложение Национального комитета геологов СССР об образовании Комиссии по истории геологических наук на правах других, уже существующих постоянных комиссий. В июне 1967 г. в г. Ереване (СССР) было проведено Учредительное собрание этой комиссии, на котором она была преобразована в Международный комитет по истории геологических наук. Президентом ее был избран В. В. Тихомиров (СССР), вице-президентами: Р. Хойкас (Нидерланды), Б. У. Рой (Индия), Д. У. Уайт (США), генеральным секретарем — К. Масьлянкевич (Польша). В Учредительном собрании были представлены 15 стран, участвовало около 150 человек, из них 34 человека с решающими правами делегатов. Были определены следующие задачи Комитета: а) содействие развитию исследований по истории геологических знаний в различных странах мира; б) выявление основных направлений развития геологических наук, учений, проблем и методов, включая исследования по другим отраслям смежных наук и техники; в) содействие в подготовке и публикации обзоров о развитии геологии в различных странах и монографий по истории отдельных отраслей геологических наук, а также создание международного сводного труда «Всеобщая история геологии». Указанный Комитет был утвержден в 1968 г. на XII сессии Международного конгресса по истории науки в Париже и одновременно на XXIII сессии Международного геологического конгресса в Праге.

Работа XXIII сессии конгресса проходила в 13 секциях: 1) верхняя мантия и ее влияние на развитие земной коры; 2) вулканизм и тектогенез; 3) орогенические пояса и их связь с межгорными устойчивыми блоками и предгорьем; 4) геология докембрия; 5) геологические результаты прикладной геофизики; 6) геохимия; 7) проблемы эндогенных рудных месторождений; 8) генезис и классификация осадочных пород; 9) стратиграфия нижнего палеозоя Центральной Европы и его корреляция с другими районами; 10) граница третичного и четвертичного периодов; 11) происхождение угля и проблемы его накопления; 12) инженерная геология в государственном планировании; 13) другие темы.

Настоящая книга выходит в свет в дни, когда уже относительно старая наука геология переживает период бурной перестройки, вступая в новый этап своего развития. Эта перестройка стимулируется влиянием происходящей в мире научно-технической революции, влиянием, проявившимся прежде всего в резко возросших возможностях получения информации о составе, структуре и истории минералов, горных пород, оболочек Земли и других планет Солнечной системы.

Успехи аналитической химии и в особенности спектроскопии обеспечили ныне точное определение состава и возраста минералов и горных пород по сколько угодно малым их пробам (например, пробы, взятые космическими станциями «Луна-16» и «Луна-20») и даже на большом расстоянии (определение состава грунта Луны, Венеры, Марса по их радиоактивности). Внедрение электронной микроскопии, особенно электронных микроскопов со сканирующим устройством, открыло возможность непосредственного изучения структуры минералов на атомарном уровне, а также органических остатков. Электронный микроскоп позволил, в частности, пополнить арсенал биостратиграфических методик изучением так называемого наннопланктона, которое стало основным методом возрастного расчленения глубоководных океанических осадков.

Очень ценным источником разнообразной информации оказалось исследование изотопных соотношений.

Во-первых, определение количественного соотношения радиоактивных изотопов и продуктов их распада позволило разработать целую гамму взаимно дополняющих и корректирующих друг друга методов определения возраста и (или) времени метаморфизма минералов и горных пород (методы U-Pb, Rb-Sr, K-Ar и др.). Быстрое развитие радиогеохронометрических исследований позволило впервые разработать межрегиональную и межконтинентальную корреляцию докембрия и создало тем самым возможность изучения ранних этапов эволюции земной коры. К настоящему времени достоверно установлено существование на Земле пород (гнейсов) с возрастом до 3,9 млн. лет, а на Луне — до 4,2 млн. лет.

Во-вторых, оно оказалось важным средством выяснения термодинамических условий происхождения многих минералов (например, алмазы по соотношению изотопов углерода), руд (колчеданные, сульфидные руды по соотношению изотопов серы).

Исследование соотношений изотопов углерода в нефтях, а также содержания в них индивидуальных углеводородов представило наилучшие доказательства их биогенного происхождения. Соотношение изотопов кислорода в раковинах древних моллюсков дало ключ к объективному определению палеотемператур древних морских бассейнов.

Неизмеримо возросло значение геофизических методов в изучении строения Земли в целом, земной коры и особенно ее осадочного слоя. К настоящему времени благодаря методу глубинного сейсмического зондирования уже довольно хорошо известно строение земной коры в пределах обширных территорий и омывающих их морей. В основном на данных геофизики основаны наши знания о земной коре океанов. Метод непрерывного сейсмопрофилирования позволяет получить непосредственное представление — по существу готовые геологические профили для верхней части осадочной толщи акваторий. Информативность практически всех геофизических методов в огромной степени возросла в результате применения электронно-вычислительных машин для обработки их численных результатов. В целом для континентов роль геофизических методов в познании структуры коры по меньшей

мере сравнялась с ролью геологического картирования поверхности и бурения, хотя и отнюдь не заменила последние. В изучении же тектоники дна океанов геофизическим методам несомненно принадлежит ведущая роль.

Разработка палеомагнитного метода превратила геофизику в историческую науку и дала в руки геологов инструмент для определения положения полюсов Земли и климатических зон, а также для восстановления взаимного расположения глыб литосферы в древние геологические эпохи.

Совершенствование техники бурения определило систематическое возрастание досягаемых для него глубин. В США нефтяные скважины достигли глубины около 9 *км*, а в СССР, на Кольском полуострове в районе Печенги находится в бурении скважина, рассчитанная на достижение глубины 10—12 *км* и имеющая своей целью вскрытие «базальтового» слоя земной коры. Начиная с 1968 г. американское судно «Гломар Челленджер» осуществило исключительную по своему значению для геологии программу глубоководного морского бурения в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах, в Карибском и Средиземном морях, вскрыв осадочный слой на глубину до 1200—1300 *м* и доказав принципиальную возможность бурения на любой глубине океанического дна. Важно подчеркнуть использование при этом новейших электронных устройств и ориентацию судна по искусственным спутникам Земли.

Наблюдения с искусственных спутников Земли, первый из которых был запущен 15 лет назад в Советском Союзе, а также космических станций уже приобрели и несомненно будут иметь в дальнейшем еще большее значение в изучении структуры Земли как поверхностной, так и глубинной. Именно из космоса становятся наиболее отчетливо видными важнейшие, глобальные черты структуры литосферы, а определения аномалий поля силы тяжести и магнитного поля уже позволили выявить существование неоднородностей не только в верхней, но и в нижней частях мантии Земли.

Получение космическими кораблями, как с помощью автоматики (советские корабли «Луна», «Венера», «Марс», американские «Маринеры»), так и путем непосредственных наблюдений (американская программа «Аполлон»), первых достоверных данных о составе поверхности и строении Луны, Венеры, Марса, а отчасти и Меркурия уже пролило новый свет на ранние стадии эволюции Земли, на вероятный механизм этой эволюции и дало возможность определить, какие черты структуры планет являются для них общими, независимыми от различий состава и истории (в частности, планетарная сетка линеаментов, диссимметрия).

Совершенствование техники экспериментов при высоких температурах и особенно давлениях привело к быстрому развитию экспериментальной минералогии и петрологии. Это, в свою очередь, в совершенно новом свете представило важнейшую проблему причин разнообразия типов магматических пород, поскольку оказалось, что это разнообразие в решающей степени зависит от теормодинамической обстановки, т. е. в конечном счете от глубины возникновения магматических расплавов в мантии.

Вся эта новая и разносторонняя информация весьма существенно пополнила фактическую основу, на которой строились геологические теории. Она раздвинула горизонты геологии сразу во всех четырех измерениях — в пространстве, поскольку по существу впервые были получены данные о составе и строении дна океанов, составляющего 60% поверхности планеты, ближайших к Земле планет Солнечной системы, а также добыты сведения о строении земной коры и более глубоких оболочек Земли, и во времени, поскольку была создана геохронологическая шкала докембрийских образований, охватывающих около $^7/_8$ геологической летописи.

В итоге геология вновь вернула себе право называться наукой о Земле в целом, вновь стала глобальной наукой, в то время как во второй половине XIX в. и особенно в первой половине XX в., после выхода в свет «Лика Земли» Э. Зюсса, в ней решительно преобладали региональные интересы.

Существует глубокое различие между «глобальной» постановкой геологических проблем в начальные периоды развития геологии и на современном этапе ее развития. В условиях почти полного отсутствия сведений о внутреннем строении Земли, составе и строении дна океанов, крайней отрывочности и неполноте данных по геологии континентов и ограничения известной геологической истории фанерозоем, общие представления об эволюции земной коры и тем более механизме этой эволюции могли быть лишь умозрительными. И только блестящая интуиция отдельных высокоталантливых ученых позволила создать более или менее правдоподобные гипотезы, предвосхищающие некоторые положения современных теорий. Однако разрыв между чрезвычайно рыхлой, чисто описательной базой и умозрительной теоретической надстройкой сохранялся очень долго, определяя «недоразвитый» характер геологической науки. Генетические выводы делались без достаточного изучения структуры геологических объектов.

Сейчас обстановка уже изменилась, и гораздо более солидный запас фактов во многом ограничивает «полет фантазии» теоретиков, а разработанные уже к настоящему времени и доступные в ближайшей перспективе методы геологических, геофизических и геохимических исследований делают возможной экспериментальную, наблюдательную проверку теоретических построений.

Вместе с тем геологи и сейчас ощущают нехватку многих существенно важных данных, необходимых для создания достаточно достоверной теории развития Земли, и это является причиной острых разногласий по ряду принципиальных вопросов. К таким данным относятся, в частности, состав и возраст второго и третьего слоев океанической коры, «базальтового слоя» континентальной коры, истинный возраст древнейших пород континентов, альпинотипных гипербазитов складчатых систем. Не хватает полной картины распределения магнитных аномалий на всей площади дна океанов, а также изменения мощности коры, отдельных ее слоев, литосферы в целом и астеносферы по всей поверхности Земли; недостаточно полна и палеомагнитная информация о миграции полюсов Земли, глыб континентальной коры, инверсиях магнитного поля, особенно в докембрии. Не собран, не систематизирован и не обобщен статистически весь огромный материал геологической летописи. Поэтому существующие палеогеографические и палеотектонические реконструкции пока страдают относительной схематичностью и известной субъективностью, а вокруг проблемы планетарной периодичности тектонических и вообще эндогенных процессов идут бесконечные споры. Сильно отстает изучение современных горизонтальных движений и настоятельно ждет экспериментальной проверки предполагаемое относительное перемещение континентальных глыб, для чего уже существуют реальные возможности. Основные геологические понятия остаются очень нечетко сформулированными и субординированными, настоятельно требуя, как принято выражаться, своей формализации. Последняя, однако, должна проводиться достаточно осторожно и разумно, с полным учетом специфики, сложности систем геологических тел и процессов.

Появление в последние годы концепции «новой глобальной тектоники», или «тектоники плит», явилось одним из наиболее ярких признаков наступления нового этапа развития геологической науки, хотя многие из высказываемых положений можно обнаружить и в гораздо более ранних работах. Однако эта концепция объединила в единую и стройную систему

элементы многих предшествующих гипотез и, что особенно важно, привлекла для их обоснования не только континентальный, но и океанический, причем не только геологический, но и разнообразный геофизический материал (данные сейсмологии, магматизма, гравиметрии, геотермики). Более того, за короткое время концепция переросла рамки собственно тектоники и вовлекла в свою орбиту многие смежные геологические дисциплины, включая палеобиогеографию, петрологию, геохимию, металлогению, седиментологию и другие. Это особенно отчетливо проявилось на XXIV сессии Международного геологического конгресса, происходившей в Монреале в августе 1972 г. Вместе с тем, что характерно для современного «высокого накала» теоретических исследований, эта концепция, в отличие от некоторых своих предшественниц (например, гипотеза контракции во второй половине XIX в. или «вертикализм» 30—60 годов XX в.), не успев еще превратиться в догму, стала объектом исключительно оживленной дискуссии, а ее слабые места подверглись достаточно резкой критике.

Независимо от того, станут ли стержнем будущей теории Земли идеи «новой глобальной тектоники» или какие-либо иные, перед теоретической геологией стоит главная задача — разработка математической и физико-химической модели как отдельных геологических процессов, так и их совокупности, их взаимодействия. При этом становится все более очевидным, что источники эндогенных процессов лежат даже не в верхней мантии, как это казалось вероятным еще недавно, в начале осуществления Международного проекта верхней мантии, а значительно глубже, вероятно на глубине ядра и мантии, причем сама эта граница в течение геологической истории могла испытывать смещения по радиусу Земли. Вековое смещение магнитного поля Земли уже достаточно давно привело к заключению о некоторой независимости вращения мантии и коры относительно ядра Земли, а сейчас становится вероятным и смещение литосферы относительно более глубоких слоев мантии. Все более очевидной делается зависимость ритма эндогенных процессов Земли от изменений окружающей ее космической среды, и мы постепенно избавляемся от «изоляционисткого» взгляда на нашу планету. Геология становится элементом, притом важнейшим, более широкой науки — сравнительной планетологии.

Геологи давно осознали, что решение задач, стоящих перед их наукой, невозможно без международного сотрудничества, ибо геологические структуры континентов не признают национальных границ, а океаны принадлежат всему человечеству. А. П. Карпинский недаром говорил, что «геологу нужна вся Земля», и геологи разных стран уже около ста лет назад начали регулярно собираться на свои международные конгрессы. В современную эпоху, когда геология приобрела характер подлинно глобальной науки, а ее интересы распространились и на ближний Космос, значение международной кооперации для ее успешного развития неизмеримо возросло. Возможности такой кооперации представляются особенно благоприятными в свете успешной реализации программы мира и быстрого роста национальных кадров в развивающихся странах.

Прогресс космических исследований имел своим следствием оживление интереса к познанию нашей планеты — «Земли людей», интереса, подогретого обновлением самой геологии, появлением в ней новых волнующих идей. Хочется надеяться, что это вызовет приток свежих творческих сил в нашу науку и что благодаря этому в ее истории будут вписаны новые блестящие страницы, на службу человечеству будут поставлены новые минеральные ресурсы, а окружающая нас природа не потерпит никакого ущерба.

ЛИТЕРАТУРА

Абрамович М. В. Поиски и разведка залежей нефти и газа. Баку, Азгостоптехиздат, 1941.

Азанчеев Ю. Каменоломни и разработка простых полезных ископаемых в России. СПб., 1894.

Алиханов Э. Н. Нефтяные и газовые месторождения Каспийского моря. Баку, Азернешер, 1964.

Амалицкий В. П. Раскопки остатков позвоночных в 1899 году в пермских отложениях севера России.— Труды Варшавск. об-ва естествоиспыт., год. XI. Варшава, 1900.

Андрусов Н. И. Современное состояние наших знаний о распределении осадков в глубинах океанов.— Горн. журн., 1889, 3, № 9.

Анри Э. Леса равнин и грунтовые воды.— Почвоведение, 1903, № 1, СПб.

Архангельский А. Д. Верхнемеловые отложения востока Европейской России.— В кн. «Материалы для геологии России», т. 25. СПб., 1912.

Архангельский А. Д. Верхнемеловые отложения Туркестана.— Труды Геол. ком., новая серия, 1916, вып. 151.

Архангельский А. Д. Введение в изучение геологии Европейской России. М.—Пг., Гос. изд-во, 1923.

Архангельский А. Д. Об осадках Черного моря и их значении в познании осадочных горных пород.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1927а, 5, № 3—4.

Архангельский А. Д. Условия образования нефти на Северном Кавказе. М.— Л., 1927б.

Архангельский А. Д., Страхов Н. М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1938.

Атлас карт угленакопления на территории СССР. Объяснительная записка. Под ред. И. И. Горского, В. В. Мокринского. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1962.

Бакакин В. В., Белов Н. В. Кристаллохимия титанов, цирконавтов, титано- и цирконосиликатов.— Геохимия, 1964, № 2.

Бакиров А. А. Геология нефтегазоносных областей и нефтяные месторождения Ближнего и Среднего Востока. М., Гостоптехиздат, 1957.

Бакиров А. А. Нефтегазоносные области Северной и Южной Америки. М., Госгеолтехиздат, 1959.

Бакиров А. А., Бакиров Э. А., Мелик-Пашаев В. С. и др. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа М., «Высш. школа», 1968.

Барсанов Г. П. Принципы современной классификации минералов.— Труды Минер. музея АН СССР, 1959, № 9.

Барсуков В. Л. Об источнике рудного вещества и его значении для металлогенических построений. В кн. «Генетические типы, условия образования и закономерности размещения месторождений олова и вольфрама северо-западного сектора Тихоокеанского пояса». Владивосток, 1966.

Батурин В. П. Палеогеография по терригенным компонентам. Баку — Москва, Аз-ОНТИ, 1937.

Батурин В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1947.

Батюшкова И. В. Представление о причинах землетрясений в работах отечественных ученых. М., Изд-во АН СССР, 1959.
Батюшкова И. В. Внутреннее строение Земли (эволюция представлений). М., «Наука», 1966.
Безбородов М. А. Мозаичные резные изразцы Средневекового Анау.— Докл. АН СССР, 1946, 51, вып. 5.
Безбородов М. А. Виноградов Д. И.— создатель русского фарфора. М., Изд-во АН СССР, 1950.
Безбородов М. А. Очерки по истории русского стеклоделия. М., Промстройиздат, 1952.
Белов Н. В. Некоторые элементарные свойства кристаллов в свете их тонкой структуры. Зап. Всес. минер. об-ва, 1945, 74, вып. 2.
Белов Н. В. Структура ионных кристаллов в металлических фаз. М., Изд-во АН СССР, 1947.
Белов Н. В. Очерки по структурной минералогии.— Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, 1950—1966, № 4—20.
Белов Н. В. Кристаллохимия силикатов с крупными катионами. М., Изд-во АН СССР, 1961.
Белоусов В. В. Мощность отложений как выражение режима колебательных движений земной коры.— Сов. геол., 1940, № 2—3.
Белоусов В. В. Миграция радиоэлементов и развитие структуры Земли.— Изв. АН СССР, серия геогр. и геофиз., 1942, № 6; 1943, № 3.
Белоусов В. В. Общая геотектоника. М.— Л., Госгеолиздат, 1948.
Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. Изд. 1-е. М., Госгеолтехиздат, 1954; изд. 2-е. М., Госгеолтехиздат, 1962.
Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия материков. М., «Наука», 1966.
Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия океанов. М., «Наука», 1968.
Белоусов В. В., Гзовский М. В. Экспериментальная тектоника. М., «Наука», 1964.
Бертран А. Письма о переворотах земного шара. С заметками Араго, Эли де Бомона, Ад. Броньяра и пр. Изд. 7-е, дополн. и испр. СПб., М., 1867.
Бетехтин А. Г. К дискуссии об происхождении некоторых месторождений свинца и цинка.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953а.
Бетехтин А. Г. Природа и процессы рудообразования. В кн. «Основные проблемы магматогенного рудообразования». М., Изд-во АН СССР, 1953б.
Бетехтин А. Г., Вольфсон Ф. А. К истории развития учения о рудных месторождениях. В кн. «Основные проблемы магматогенного рудообразования», М., Изд-во АН СССР, 1953.
Бетехтин А. Г., Радугина Л. В. Определение рудных минералов под микроскопом М.— Л., Новосибирск, Гос. науч-тех. горно-геол. нефт. изд-во, 1933.
Билибин В. В., Гаврилов Я. В., Мирчинк М. Ф. Нефтепромысловая геология. Баку, 1934.
Билибин Ю. А. К вопросу о вертикальной зональности рудных месторождений.— Зап. Всес. минер. об-ва, 1961, ч. 80, вып. 2, серия 2.
Билибин Ю. А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955.
Бируни А. Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия). Пер. А. М. Беленицкого. Изд-во АН СССР, 1963.
Блюмер Э. Нефтяные месторождения. Основы геологии нефти. Л., Нефт. изд-во НТУ ВСНХ СССР, 1929.
Богданович К. И. Рудные месторождения. СПб., 1912—1913.
Богданович К. И. Очерк месторождений нефти и других битумов. Пг., 1921.
Бокий Г. Б. Число физически различных простых форм кристаллов.— Труды лабор. кристаллогр. АН СССР, 1940, № 2.
Болдырев А. К. Курс описательной минералогии. Вып. 1. М.— Л., 1926.
Болк Р. Структурные особенности изверженных горных пород. Пер. с англ. М.— Л., Госгеолиздат, 1946.
Борисов П. А. Керамические пегматиты Карело-Финской ССР. Петрозаводск, 1948.
Боуэн Н. Л. Эволюция изверженных пород. Пер. с англ. М.— Л. — Новосибирск, Гос. научн.-техн. горно-геол. нефт. изд-во, 1934.
Браунс Р. Химическая минералогия. СПб., 1904.
Брод И. О. Основы учения о нефтегазоносных бассейнах. М., «Недра», 1964.
Брэгг В. Л. Структура силикатов. М.— Л., ГОНТИ, 1934.
Бурштар М. С., Машков И. В. Условия формирования и закономерности движения залежей нефти и газа (на примере Предкавказья и степного Крыма). М., Гостехиздат, 1963.
Буялов Н. И. и др. Методика оценки прогнозных запасов нефти и газа. Л., Гостоптехиздат, 1962.
Бюффон Ж. Л. Всеобщая и частная естественная история, ч. I, СПб., 1789.

Ван-Тайл Ф. М., Паркер Б. Г., Скитерс У. У. Миграция и аккумуляция нефти и природного газа. М., ИЛ, 1948.
Вассоевич Н. Б. Флиш и методика его изучения, ч. 1—2. Л.— М., Гостоптехиздат, 1948—1949.
Вассоевич Н. Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние).— Изв. АН СССР, серия геол., 1967, № 11.
Вебер В. В. и др. Накопление и преобразование органического вещества в современных морских осадках (в аспекте происхождения нефти). М., Гостоптехиздат, 1956.
Вегенер А. Л. Возникновение материков и океанов. М.— Л., 1925.
Веденеева Н. Е., Ратеев М. А. Идентификация дисперсных минералов глин с помощью красителей на основе данных спектрофотометрии.— Докл. АН СССР, новая серия, 1950, 1, № 71.
Вернадский В. И. О группе силлиманита и роли глинозема в силикатах. Рассуждение В. И. Вернадского. М., 1891.
Вернадский В. И. Памяти Н. И. Кокшарова и А. В. Гадолина.— Bull. Soc. nat. de Moscou, 1892, 6, N 4.
Вернадский В. И. Основы кристаллографии, ч. 1, вып. 1. М., 1904.
Вернадский В. И. Опыт описательной минералогии. т. I, вып. 1. СПб., 1908.
Вернадский В. И. Парагенезис химических элементов в земной коре. Дневник XII съезда русских естествоиспыт. и врачей. М., 1910.
Вернадский В. И. Радиевые институты.— Русская мысль, 1911, кн. 2. СПб.
Вернадский В. И. Биосфера, т. 1—2. Л., 1926.
Вернадский В. И. Мысли о современном значении истории знаний.— Труды Ком. по истории знаний, 1927, вып. 1.
Вернадский В. И. Задачи минералогии в нашей стране — Природа, 1928, № 1.
Вернадский В. И. Торий и мезоторий в морской воде? — Природа, 1932, № 5.
Вернадский В. И. История природных вод, т. I—III. М.— Л., 1933—1936.
Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.— Л.,— Грозный — Новосибирск. Горгеонефтеиздат, 1934.
Вернадский В. И. Радиоактивность и новые проблемы геологии.— В сб. «Основные идеи геохимии», вып. II. Л., 1935.
Вернадский В. И. Избранные сочинения, т. I—V. М., изд-во АН СССР, 1954—1960.
Вернадский В. И. История минералов земной коры. Избр. соч., т. IV, кн. I. М., Изд-во АН СССР, 1959а.
Вернадский В. И. К теории силикатов. Избр. соч., т. IV, кн. I. М., Изд-во АН СССР, 1959б.
Вернадский В. И. История природных вод. Избр. соч., т. IV, кн. II. М., Изд-во АН СССР, 1960.
Вернадский В. И. Химический состав биосферы Земли и ее окружения. М., «Наука», 1965.
Вернадский В. И., Курбатов С. М. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги. Л.— М., ОНТИ, 1937.
Викулова М. Ф. Электронномикроскопическое исследование глин. М., Госгеолиздат, 1952.
Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов моря, ч. 1—3. М.— Л., Изд-во АН СССР. 1935—1944.
Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. Изд. 1-е, 1950; изд. 2-е, 1957. М., Изд-во АН СССР.
Виноградов А. П. О происхождении вещества земной коры.— Геохимия, 1961, № 1.
Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры.— Геохимия, 1962а, № 7.
Виноградов А. П. Зонная плавка как метод изучения некоторых радиальных процессов в Земле.— Геохимия, 1962б, № 3.
Виноградов А. П., Ронов А. Б., Ратынский В. М. Изменение химического состава карбонатных пород Русской платформы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 1.
Влодавец В. И. Классификация отрицательных вулканических форм рельефа.— Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.
Вольфсон Ф. И. Проблема изучения гидротермальных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1952—1953.
Вульф Г. В. Кристаллы. Их образование, вид и строение. М., 1926.
Высоцкий Б. П. Иоганнес Вальтер и его роль в развитии геологии. М., Изд-во АН СССР, 1965.
Высоцкий Н. К. Месторождения золота в Кочкарской системе Южного Урала.— Труды Геол. ком., 1900, т. XXIII, вып. 3.
Вялов О. С. Мел и палеоген Ферганы.— Материалы Тадж.-Памирск. экспед., 1936, вып. 47.

Гамильтон В. Известие о последнем извержении горы Везувия в июне месяце 1794 года. Пер. с англ. СПб., 1796.
Гассоу У. К. Основные положения гипотезы дифференциального улавливания нефти и газа.— В сб. «Проблемы нефтяной геологии в освещении зарубежных ученых». Л. Гостоптехиздат, 1961.
Гаюи Р. Ж. Структура кристаллов. Избр. труды. Серия «Классики науки». М.— Л., Изд-во АН СССР, 1962.
Гейки А. Геология. Пер. с англ. СПб., 1875.
Геккер Р. Ф. Отложения, фауна и флора Главного девонского поля.— В кн. «Фауна девонского поля», ч. I. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1941.
Геккер Р. Ф., Филиппова М. Ф., Бархатова В. Отложения Главного девонского поля.— Труды Ленингр. геол.-разв. треста, 1932, 2.
Гельмерсен Г. П. Магнитная гора Благодать в Северном Урале.— Горн. журн., 1858, т. III.
Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР (в 12 томах). М., Госгеолтехиздат, 1962—1967.
Герасимов А. П. Роль радия в динамике земной коры (Доклад на открытом годичном заседании Присутствия геологического комитета 24 апреля 1921 г.— Изв. Геол. ком., 1921, 40, № 1).
Герасимов Н. П. Уральский отдел пермской системы.— Уч. зап. Казанск. ин-та, 1937, 97, кн. 3—4, вып. 8—9.
Гербер М. И., Двали М. Ф. Природные сжатые газы как вероятный фактор миграции нефти из материнских пород. Л., Гостоптехиздат, 1961.
Герсеванов Н. М. Основы динамики грунтовой массы. М., 1931.
Гёфер Г. Нефть и ее производные. СПб., 1908.
Гёфер Г. Подземные воды и источники. М.— Л., Госиздат, 1925.
Гинзбург-Карагичева Т. Л., Прянишников Н. Д., Родионова К. Ф. Некоторые данные о микробиологических и химических исследованиях глубоководных илов Черного моря.— Микробиология, 1934, т. III, вып. 4.
Глинка К. Д. Глауконит. СПб., 1896.
Гмелин И. Г. Как в Хине фарфоровая посуда делается. СПб. ведомость Ист. и Геогр. примечания г. IXXX. СПб., 1731.
Головачев Е. Об устройстве земских дорог и отношение их к железным путям для развития производительности России. Киев, 1870.
Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна.— Материалы для геол. России, 1869, т. I. СПб.
Голубятников Д. В. Подсчет запасов нефти в недрах Апшеронского полуострова.— Материалы по общей и прикладной геологии, 1924, вып. 103. Л.
Гольдшмидт В. М. Кристаллохимия. Л., ОНТИ, 1937.
Гордеев Д. И. Академик Ф. П. Саваренский. Жизнь и деятельность. Роль в развитии советской гидрогеологии и инженерной геологии.— Труды Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР, 1954а, т. XI.
Гордеев Д. И. Основные этапы истории отечественной гидрогеологии.— Труды Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского, 1954б, т. VII.
Гордеев Д. И. М. В. Ломоносов — основоположник геологической науки. Изд. 2-е. Изд-во МГУ, 1961.
Гордеев Д. И. История геологических наук, т. I. Изд-во МГУ, 1967.
Горин В. А. Стратиграфические залежи нефти и проблема их поисков на Апшеронском полуострове.— Азерб. нефт. хоз-во, 1940, № 7.
Горшков Г. С. Первое историческое извержение вулкана Безымянного.— Бюлл. Вулканол. станций, 1956, № 24.
Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955—1963 гг. М., «Наука», 1965.
Грейтон Л. К. Природа рудообразующего флюида (Перев. с англ. Н. И. Берлинга). М.— Л., Госгеолиздат, 1946.
Григорьев Д. П., Шафрановский И. И. Выдающиеся русские минералоги. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1949.
Грим Р. Е. Минералогия глин. Пер. с англ. М., ИЛ, 1959.
Гроссгейм В. А. История терригенных минералов в мезозое и кайнозое Северного Кавказа и Предкавказья — Труды ВНИГРИ, 1961, вып. 180.
Грот П. Физическая кристаллография. СПб., 1897.
Губкин И. М. Майкопский нефтеносный район. Нефтяно-Ширванская нефтяная площадь.— Труды геол. ком., новая серия, 1913, вып. 78.
Губкин И. М. Учение о нефти. М., ОНТИ НКТП СССР, 1932.
Губкин И. М. и *Федоров С. Ф.* Грязевые вулканы Советского Союза и их связь с генезисом нефтяных месторождений Крымско-Кавказской геологической провинции. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1938.

Гуляева Л. А. Геохимия отложений девона и карбона Куйбышевского Поволжья. М., Изд-во АН СССР, 1956.
Гумбольдт А. Центральная Азия. М., 1915.
Гумбольдт А. Путешествие в равноденственные области Нового Света в 1799—1904 гг. Остров Тенерифа и Восточная Венесуэла. М., Географгиз, 1963.
Дейхман. Мысли об основании землеописательной науки. СПб., 1829.
Джанелидзе А. И. Очерки по истории геологии. Изд-во Тбилисского гос. ин-та, 1959. На груз. языке.
Докучаев В. В. Способы образования речных долин Европейской России.— Труды СПб., об-ва естествоиспыт., 1878, 9.
Докучаев В. В. Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Вып. XIII, СПб., 1886.
Докучаев В. В. Учение о зонах природы. Со вступит. статьей Ю. Г. Саушкина. М., Географгиз, 1948.
Долицкий В. А. Геологическая интерпретация материалов геофизических исследований скважин. М., «Недра», 1968.
Дорошин П. О некоторых вулканах, их извержениях и землетрясениях в бывших американских владениях России. СПб., 1869.
Достовалов Б. Н., Кудрявцев В. А. Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967.
Елисеев Н. А. Структурная петрология. Изд-во ЛГУ, 1953.
Емельянова Е. П. Методическое руководство по стационарному изучению оползней. М., Гостехиздат, 1956.
Еременко Н. А. Геология нефти и газа. М., Гостоптехиздат, 1961.
Ефремов И. А. Тафономия и геологическая летопись, кн. I.— Труды Палеонтол. ин-та АН СССР, 1950, т. XXIV.
Жданов М. А. Методика подсчета запасов природных горючих (углеводородных) газов. М., Изд-во АН СССР, 1940.
Жданов М. А. Методы подсчета подземных запасов нефти и газа. М., Госгеолиздат, 1952.
Жданов М. А. Нефтегазопромысловая геология. М., Гостоптехиздат, 1962.
Жемчужников Ю. А. Общая геология каустобиолитов. М.— Л., ОНТИ, 1935.
Жемчужников Ю. А. Цикличность строения угленосных толщ, периодичность осадконакопления и методы ее изучения.— Труды ин-та геол. наук АН СССР, 1947, вып. 90.
Жемчужников Ю. А., Яблоков В. С., Боголюбова Л. И., Ботвинкина Л. Н., Феофилова А. П., Ритенберг М. И., Тимофеев П. П., Тимофеева З. В. Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна, ч. I, 1959; ч. II, 1960.— Труды Геол. ин-та АН СССР, вып. 15.
Жодейко Ф. О вулканах и их подземных сообщениях. Пер. с франц. 1828.
Жуков В. А., Толстой М. П., Троянский С. В. Артезианские воды каменноугольных отложений Подмосковной палеозойской котловины. М., ГОНТИ, 1939.
Жуковский Н. Е. Теоретические исследования о движении подпочвенных вод.— Русск. физ.-хим. об-во, 1889, ч. физ., т. XXI, отд. 1, вып. 1.
Заварицкий А. Н. Гора Магнитная и ее месторождения железных руд.— Труды Геол. ком., вып. 122, 1922—1927, ч. 1—3.
Заварицкий А. Н. Введение в петрографию осадочных горных пород. М.— Л., 1932.
Заварицкий А. Н. Линейное расположение вулканов Камчатки. Тезисы докладов XVII Междунар. геол. конгр. М., 1937.
Заварицкий А. Н. О генезисе колчеданных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1943, № 3.
Заварицкий А. Н. Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.
Заветнов Е. Ответ на задачу 1815 года об отыскании в Финляндии фельдшпата для деления фарфора.— Труды Волжского эконом. об-ва. СПб., 1817, ч. 68.
Залесский М. Д. Очерк по вопросу образования угля. Пг., Геол. ком., 1914.
Захаров Е. Е. К вопросу о классификации месторождений полезных ископаемых.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 5.
Земятченский П. А. Учебник минералогии. СПб., 1902.
Зхус И. Д. Глинистые минералы и их палеогеографическое значение. М., «Наука», 1966.
Иваницкий А. Б. О микроскопическом и анатомическом исследовании окаменелого дерева и каменного угля.— Горн. журн., 1842, № 4.
Иванов Г. А. Каустобиолиты. Краткий курс месторождений полезных ископаемых. М.— Л., Гостоптехиздат, 1946.
Иванов Г. А. Методика фациально-геотектонического анализа угленосных отложений и применение ее в практике геологоразведочных работ.— Труды Лабор. геол. угля АН СССР, 1956, вып. 5.
Иванов Г. А. Угленосные формации. М., «Наука», 1967.

Иванов Г. А., Сарбеева Л. И. Кливаж (отдельности) в углях и вмещающих породах и пути его практического использования, ч. I, II.— Тр. ЦНИГРИ, 1939, вып. 110; 1940, вып. 127.
Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства (методическое руководство), т. I, II. Под ред. И. В. Попова. М., Госгеолиздат, 1947.
Инженерно-геологические исследования при градостроительстве. Под ред. В. А. Приклонского. М., 1950.
Иностранцев А. А. Геологические исследования на севере России в 1869 и 1870 гг.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1872, т. III.
Иностранцев А. А. Исторический очерк деятельности Везувия.— Журн. Мин-ва нар. просв., 1873а, январь.
Иностранцев А. А. О некоторых продуктах извержения Везувия.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1873б, т. IV.
Иностранцев А. А. Заметка об исследовании непрозрачных минералов, входящих в состав горных пород.— Изв. об-ва любителей естествозн., антропол. и этногр., 1875, т. XVI, вып. I.
Иностранцев А. А. Геологический очерк Повенецкого уезда Олонецкой губернии и его рудных месторождений.— Материалы для геологии России, 1877, т. VII.
Иностранцев А. А. Геологический очерк Европейской России.— В кн. Реклю Э. «Земля и люди». Дополн. к т. V, вып. 2. СПб., 1884.
Иностранцев А. А. Геология, т. I—III. СПб., 1885—1887.
Иностранцев А. А. Геология, т. I. Изд. 2-е. СПб., 1889.
Иностранцев А. А. Коренное месторождение платины на Урале.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., отд. геол. и минер., 1893, **22**, вып. 2.
История естествознания в России, т. I, ч. 1 и 2, 1957; т. III, 1963. М., Изд-во АН СССР.
Казаков А. В. Фосфатные фации.— Труды НИУИФ, 1939, вып. 145.
Калинко М. К. Основные закономерности распределения нефти и газа в земной коре. М., «Недра», 1964.
Калицкий К. П. Геология нефти. Пг., 1921.
Калицкий К. П. Научные основы поисков нефти. М.— Л. Гостоптехиздат, 1944.
Каменский Г. Н. Предмет инженерной геологии как науки.— Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 1.
Каменский Г. Н. Поиски и разведка подземных вод. М.— Л., Госгеолиздат, 1947.
Капелюшников М. А., Жузе Т. П., Закс С. Л. Физическое состояние нефти, газа и воды в условиях нефтяного пласта.— Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1952, № 11.
Карножицкий Г. А. Седьмой Международный конгресс геологов в С.-Петербурге.— Научн. обозрение, 1897, № 9.
Карпинский А. П. Очерк полезных ископаемых в Европейской России и на Урале. СПб., 1881.
Карпинский А. П. Очерк физико-географических условий Европейской России в минувшие геологические периоды.— Зап. Акад. наук, 1887, 55, прил. № 8.
Карпинский А. П. Общий характер колебаний земной коры в пределах Европейской России, 1894 г.— В кн. «Очерки геологического прошлого Европейской России». М.— Л., Изд-во АН СССР, 1947.
Карцев А. А. Основы геохимии нефти. М., Изд-во «Недра», 1969.
Кейль К. Инженерная геология и геотехника. Изд. 2-е. Галле, 1954—1961.
Келлер Б. М., Меннер В. В. Стратиграфия.— В кн. «История естествознания в России», т. III. М., Изд-во АН СССР, 1962.
Киселев А. О. Погибший город.— Оренбург, 1905.
Ковалевский В. О. Несколько слов о границах между юрскою и меловою формациями и о той роли, которую могут играть юрские отложения России в решении этого вопроса.— Изв. Об-ва любителей естествозн., антропол. и этногр., 1874, т. XIV, М.
Ковалевский С. А. Грязевые вулканы Южного Прикаспия (Азербайджан и Туркмения). Баку, Азгостоптехиздат, 1940.
Козлов А. Л. О закономерностях формирования и размещения нефтяных и газовых залежей. М., Гостоптехиздат, 1959.
Кокшаров Н. Н. Материалы для минералогии России. Ч. 1—11. СПб., 1853—1891.
Константинов М. М. Об осадочном происхождении некоторых месторождений свинца и цинка.— Разв. недр, 1951, № 5.
Коржинский Д. С. Образование контактовых месторождений.— Изв. АН СССР, серия. геол., 1945, № 3.
Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов.— В кн. «Основные проблемы магматогенного рудообразования». М., Изд-во АН СССР, 1953.
Коржинский Д. С. Физико-химические основы парагенезиса минералов. М., Изд-во АН СССР, 1957.
Королев А. В. Структуры рудных полей и месторождений. Ташкент, 1935.
Королев А. В. Зависимость зональности оруденения от последовательности развития структур рудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 1.

Коптев-Дворников В. С., Григорьев И. Ф., Доломанова Е. И. и др. Гранитные формации малых глубин.— В кн. «Петрографические провинции, изверженные и метаморфические горные породы». М., Изд-во АН СССР, 1960.
Космид-Юшенко М. М. Природа вулканизма. Новые мысли и представления. М., 1925.
Коссовская А. Г. Минералогия терригенного мезозойского комплекса Вилюйской впадины и Западного Верхоянья (О формировании минерального состава терригенных пород).— Труды ГИН АН СССР, 1962, вып. 63.
Костов И. Заметки о более рациональной классификации минералов.— Зап. Всес. минер. об-ва, 1954, 83, вып. 4.
Косыгин Ю. А. Основы тектоники нефтеносных областей. М.— Л., Гостоптехиздат, 1952.
Котяхов Ф. И. Основы физики нефтяного пласта. М., Гостоптехиздат, 1956.
Крашенинников Г. Ф. Условия накопления угленосных формаций. Изд-во МГУ, 1957.
Крейчи-Граф К. Основные вопросы нефтяной геологии. Л., ОНТИ НКТП, 1934.
Кремс А. Я. Вопросы формирования залежей нефти и газа. М.— Л., Гостоптехиздат, 1954.
Кремс А. Я. История советской геологии нефти и газа. Л., «Недра», 1964.
Криштофович А. Н. Новая система региональной стратиграфии.— Сов. геол., 1939, т. IX, № 9.
Кронштедт А. Ф. Опыт классификации царства минералов. СПб., 1776.
Кропоткин П. Н. Палеомагнетизм, палеоклиматы и проблема крупных горизонтальных движений земной коры.— Сов. геол., 1961, № 5.
Крук Т. История учения о рудных месторождениях. Пер. с англ. М.— Л., ГОНТИ НКТП, 1938.
Крылов А. П., Глоговский М. М., Мирчинк М. Ф., Николаевский Н. М., Чарный Н. А. Научные основы разработки нефтяных месторождений. М.— Л. Гостоптехиздат, 1948.
Крэг К. Поиски нефти. Пг., 1923.
Куглер Г. Осадочный вулканизм на Тринидаде. Баку—М., Азнефтеиздат, 1934.
Кудрявцев Н. А. Против органической гипотезы происхождения нефти.— Нефт. хозво, 1951, № 9.
Кудрявцев Н. А. Глубинные разломы и нефтяные месторождения.— Труды ВНИГРИ, 1963, вып. 215.
Кузнецов Ю. А. Магматические формации и их классификации. Междунар. геол. конгр. XXI сессия. Доклады советских геологов. Проблема 13. М., Изд-во АН СССР, 1960.
Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., «Недра», 1964.
Кулибин К. А. О коренных месторождениях золота в Миасской и Березовской дачах.— Горн. журн., 1887, т. IV, № 11.
Курочкин Г. Д. Исследования минеральных ресурсов экспедициями АН СССР (1919—1959 гг.). М., «Наука», 1969.
Куторга С. С. Общий взгляд на Таврический полуостров.— Журн. Мин-ва нар. просв., 1834, т. II. СПб.
Куторга С. С. Естественная история земной коры. СПб., 1858.
Кучин М. И. Подземные воды Обь-Иртышского бассейна в границах Новосибирской области, Алтайского края и Омской области. В кн. «Гидрогеология СССР», вып. 16. М.—Л., Госгеолиздат, 1940.
Лайель Ч. Основания геологии. Пер. с 5-го издания. М., 1859.
Лайель Ч. Основные задачи геологии или новейшие изменения Земли и ее обитателей, т. I. Пер. с англ. М., 1866.
Лаптин В. Описание вулканических явлений в бассейне вод острова Санторина. Одесса, 1866.
Лапченко С. Г. О землетрясениях и горах огнедышащих. СПб., 1876.
Лебедев А. Ф. Роль парообразной воды в режиме почвенных и грунтовых вод.— Труды по с.-х. метеорол., 1913, вып. XII. СПб.
Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. Изд. 4-е. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1936.
Лебедев Г. О новой теории вулканизма Малле.— Горн. журн., 1876, т. I.
Левенштейн М. Л. Закономерности метаморфизма углей Донецкого бассейна.— Сов. геол., 1962, № 2.
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. О месторождении горы Высокой на Урале.— Изв. СПб. политехн. ин-та, 1906, 5.
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Проблема генезиса магматических пород и пути к ее разрешению. Л., Изд-во АН СССР, 1934.
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Введение в историю петрографии. Л.— М., 1936.
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Проблемы магмы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1939, № 1.
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Успехи петрографии в России. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950.

Левицкий О. Д. Вольфрамовые месторождения в Восточном Забайкалье.— В кн. «Месторождения редких и малых металлов СССР», т. 2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1939.
Левицкий О. Д. К вопросу о значении коллоидных растворов.— В кн. «Основные проблемы эндогенного рудообразования». М., Изд-во АН СССР, 1953.
Левицкий О. Д., Смирнов В. И. О значении первичной зональности для поисковых рудных тел гидротермальных месторождений не выходящих на поверхность.— В кн. «Основные проблемы магматогенного рудообразования». М., Изд-во АН СССР, 1953.
Леворсен А. И. Аккумуляция, связанная со стратиграфией. В сб. «Проблемы образования нефтяных залежей по трудам американских геологов». Баку, 1938.
Леворсен А. И. Геология нефти. М., Гостоптехиздат, 1958.
Лейбниц Г. В. Теодицея. Харьков, 1887—1892.
Лемлейн Г. Г. Минералогические сведения, сообщаемые в трактате Бируни.— В кн. А. Бируни. Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия). Л., Изд-во АН СССР, 1963.
Леонов Г. П. К вопросу о задачах и методе регионально-стратиграфических исследований.— Вестн. МГУ, 1953а, № 3.
Леонов Г. П. К вопросу о принципе и критериях регионально-стратиграфического расчленения осадочных образований.— В сб. «Памяти проф. А. М. Мазаровича». М., Изд-во МОИП, 1953б.
Леонов Г. П. К вопросу о соотношении стратиграфических и геохронологических подразделений.— Вестн. МГУ, 1955, № 8.
Лёссовые породы СССР. Под ред. И. В. Попова, В. С. Быковой. М., «Наука», 1966.
Линдгрен В. Минеральные месторождения магматических рудных месторождений. М.— Л., Госгеолтехиздат, 1933.
Лисенко И. Р. Геологические наблюдения в округах Миасского и Златоустовского заводов, также в местах к ним прилежащих.— Гор. журн., 1835, № 1—2.
Личков Б. Л. Движение материков и климаты прошлого Земли. Л., 1931.
Личков Б. Л. Природные воды Земли и литосфера.— Зап. Всес. геогр. об-ва, 1960, 19, новая серия.
Личков Б. Л. К основам современной теории земли. Л., 1965.
Ломоносов М. В. Первые основания металлургии или рудневых дел. СПб., 1763.
Ломоносов М. В. Письмо о пользе стекла (стихотворение). М., «Советский писатель», 1935.
Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений, т. 2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1951.
Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений, т. 5. М. —Л., Изд-во АН СССР, 1954.
Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства глинистых пород. Л., 1957.
Лукашевич И. Д. Неорганическая жизнь Земли, ч. I—III, 1909—1911. СПб.
Львов А. В. Технико-геологическое описание линии Западной части Амурской железной дороги (Предварительный отчет о геологических изысканиях вдоль линии дороги, произведенных летом 1911 г.). СПб., 1913.
Люстих Е. Н. Неомобилизм и конвекция в мантии Земли.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1965, № 1.
Мавлянов Г. А. Генетические типы лёссовых и лёссовидных пород центральной и южной частей Средней Азии и их инженерно-геологические свойства. Ташкент, 1958.
Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. М., «Недра», 1965.
Македонов А. В. История угленакопления в Печорском бассейне. М., «Наука», 1965.
Маков К. И. Подземные воды Башкирской АССР, ч. 1, текст. В кн. «Гидрогеология СССР», кн. 2. «Урал». М.— Киев, 1946.
Максимов М. И. Геологические основы разработки нефтяных месторождений. М., «Недра», 1965.
Максимов С. П. Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа в палеозойских отложениях (На примере южных районов Волго-Уральской нефтегазоносной области). М., «Недра», 1964.
Марголиус А. М. Соляные промыслы Закавказья, их прошлое, современное состояние и возможное будущее. Тифлис, 1906.
Марков К. К. Палеогеография. Изд. 2-е, перераб. Изд-во МГУ, 1960.
Маслов К. С. Научные основы поисков литологических и стратиграфических залежей нефти и газа в терригенных толщах. М., «Недра», 1968.
Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры, вып. 1—8. М., Изд-во АН СССР, 1955—1960.
Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов, сб. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1953—1957.
Материалы Пражской конференции по проблеме эндогенных образований. Прага, 1963.
Мелик-Пашаев В. С., Путкарадзе А. Л. Геологическое строение и нефтеносность Бакинского архипелага. М., Гостоптехиздат, 1954.
Мельников М. Асбест и его разновидность. СПб., 1886.

Мельникова К. П. Развитие советского грунтоведения в связи с дорожным и гидротехническим строительством. Изд-во МГУ, 1961.
Менделеев Д. И. Основы химии, т. I. Л., 1931.
Меняйлов А. А. Вулкан Шевелуч, его строение, состав и извержения.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, 1955, вып. 9.
Мерзлотные исследования, вып. 1—7. Изд-во МГУ, 1961—1967.
Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород, т. I—II. Под ред. Е. М. Сергеева, С. Н. Максимова, Г. М. Березкиной. Изд-во МГУ, 1968.
Мефферт Б. Ф. Ископаемые угли Донецкого бассейна. Вып. I. Угли Центрального района. Пг., изд. Геол. ком., 1915.
Мефферт Б. Ф., Крым В. С. Ископаемые угли Донецкого бассейна. Вып. II. Угли Алмазного и Марьевского района. Л., Изд. Геол. ком., 1926.
Миклашевский П. Месторождения огнеупорных глин в России и способы выделки огнеупорных изделий, применяемых на русских горных заводах. СПб., 1881.
Минеральные воды России. Сборник КЕПС, т. IV. Полезные ископаемые, вып. 40. Под редакцией А. П. Герасимова. Изд. АН, Пг., 1920.
Мирчинк Г. Ф. Основные закономерности развития земного лика.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1940, № 1.
Мирчинк М. Ф. Стратиграфические залежи нефти в Азербайджане.— Азерб. нефт. хозво, 1941, № 3.
Михайловский Г. П. Несколько соображений о происхождении Кавказской нефти.— Изв. Геол. ком., 1906, т. XXV, № 6.
Михеев В. И. Гомология кристаллов. Л. Гостоптехиздат, 1961.
Морозов С. С. Материалы по региональному грунтоведению. Изд-во МГУ, 1964.
Мушкетов И. В. Геологическое строение Златоустовского горного округа.— Горн. журн., 1877, т. III, IV.
Мушкетов И. В. Физическая геология, т. I, СПб., 1891.
Наумчик Г. Л., Рахимова И. Ш., Субботин С. И. Мантия Земли и тектогенез. Киев, «Наукова думка», 1968.
Неймайр М. История Земли, т. 2. Пер. с 2-го нем. изд. СПб., 1902.
Некрасов И. Я. Геохимия олова и редких элементов Верхояно-Чукотской складчатой области. М., «Наука», 1966.
Нерудные ископаемые. Сборник. Т. I—II. Л., КЕПС, 1926.
Неручев С. Г. Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. Л., Гостоптехиздат, 1962.
Нефтегазоносные бассейны земного шара. Под ред. И. О. Брода и И. В. Высоцкого. М., «Недра», 1965.
Нечаев С. Н. Общая геологическая карта России, лист 56-й. Ярославль, Ростов, Калязин, Весьегонск, Пошехонье. СПб., 1884.
Никитин С. Н. Послетретичные отложения Германии и их отношение к соответствующим образованиям России.— Изв. Геол. ком., 1886, т. V.
Никитин С. Н. Следы мелового периода в центральной России.— Труды Геол. ком., 1888, т. V, № 2.
Никитин С. Н. Каменноугольные отложения Подмосковного края и артезианские воды под Москвой.— Труды Геол. ком., 1890а, т. V.
Никитин С. Н. Общая геологическая карта России, лист 57-й.— Труды Геол. ком., 1890б, т. V.
Никитин С. Н. Грунтовые и артезианские воды на Русской равнине. СПб., 1900.
Никитин С. Н., Наливкин В. А. Гидрогеологические исследования в 1894 г. в бассейне верховьев Днепра до впадения реки Вязьмы.— Труды экспед. исследов. источн. рек Европейской России. 1896, СПб.
Николаев Н. И. Новейшая тектоника СССР. М., Изд-во АН СССР, 1949.
Николаев Н. И. Новейшая тектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. М., «Недра», 1962.
Никольский А. П. О генезисе оловоносной магмы.— Сов. геол., 1941, № 4.
Ньютон И. Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. Перев. с англ. М.— Л., 1927.
Обручев В. А. Рудные месторождения. Часть описательная. М.— Л., Госиздат, 1929.
Обручев В. А. История геологического исследования Сибири. Периоды 1—5. М., Изд-во АН СССР, 1931—1940.
Обручев В. А. Геология Сибири, т. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1935—1938.
Обручев В. А. Пульсационная гипотеза геотектоники.— Изв. АН СССР, серия геол., 1940, № 1.
Обручев В. А. Основные черты кинетики и пластики неотектоники.— Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 5.
Овчинников А. М. Минеральные воды (учение о месторождениях минеральных вод с основами гидрохимии и радиогидрогеологии). Изд. 2-е, исп. и доп. М., Госгеолтехиздат, 1963.

Озерский А. Д. Очерк геологии, минеральных богатств и горного промысла в Забайкалье. СПб., 1867.
Опыт и методика изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий крупных водохранилищ. Под ред. Г. С. Золотарева, Д. С. Соколова, Е. Г. Чаповского. Изд-во МГУ, 1959.
Орлов А. П. Обзор сейсмических и вулканических явлений за 1884 г. Казань, 1885.
Основные черты геохимии урана. М., Изд-во АН СССР, 1962.
Отоцкий П. В. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение, ч. 2. Грунтовые воды и леса, преимущественно на равнинах средних широт.— Труды опытных лесничеств, 1906, вып. IV.
Отоцкий П. В. Схема залегания грунтовых вод на равнине Европейской России.— Прил. к русск. пер. книги: *К. Кейльгак* «Подземные воды и источники». СПб., 1914.
Павлов А. П. Генетические типы материковых образований ледниковой и послеледниковой эпохи.— Изв. Геол. ком., 1888, т. VII.
Павлов А. П. Очерк истории геологических знаний. М., 1921.
Павлуцкий Ив. Краткое описание серебро-свинцовых рудников, разрабатываемых в Нерчинском горном округе.— СПб., 1870.
Пейве А. В. Глубинные разломы в геосинклинальных областях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945.
Пейве А. В. Океаническая кора геологического прошлого — Геотектоника, 1969, № 4.
Поваренных А. С. К развитию определения понятия минерала.— Труды Геол. и минер., вып. 1, 1954.
Поваренных А. С. О дальнейшем развитии кристаллохимической классификации минералов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 12.
Поваренных А. С. Формулы для вычисления удельного веса кубических кристаллов типа АХ — Труды Криворожск. горнорудн. ин-та, 1961, вып. 10.
Поваренных А. С. Об основном законе кристаллохимии.— Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, 1962, № 16.
Поваренных А. С. Твердость минералов. Киев. Изд-во АН СССР, 1963.
Поваренных А. С. О реализации и унификации кристаллохимических формул минералов. В кн. «Химический состав и внутреннее строение минералов». Киев, «Наукова думка», 1964.
Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, «Наукова думка», 1966.
Погребицкий Е. О. Геологическая история Донецкого бассейна как один из факторов метаморфизма его углей.— Труды XVII сессии Междунар. геол. конгр., 1939, т. I.
Полетика И. А. Общие свойства месторождений золота. СПб., 1866.
Полканов А. А. Основные положения генетической систематики интрузивных тел.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 5.
Поло М. Путешествия. Л., Изд. худ. лит., 1940.
Полынов Б. Б. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1956.
Попов А. И. Вечная мерзлота Западной Сибири. М., Изд-во АН СССР, 1953.
Попов И. В. Естественная инженерно-геологическая классификация грунтов как основа выбора характеристик.— Пробл. Сов. геол., 1937.
Попов И. В. Основы инженерно-геологического грунтоведения. М.—Л., Госгеолиздат, 1941.
Попов И. В. Методика составления инженерно-геологических карт. М., Госгеолиздат, 1950.
Попов И. В. Инженерная геология. Изд. 2-е. Изд-во МГУ, 1959.
Потонье Г. Происхождение каменного угля и других каустобиолитов. ГОНТИ. 1934.
Поярков В. Э. Ртуть и сурьма. Оценка месторождений при поисках и разведках, 1955, вып. 15.
Приклонский В. А. Общее грунтоведение. М., Госгеолиздат, 1943.
Приклонский В. А. Грунтоведение, ч I, II. М., Госгеолиздат, 1958.
Проблемы образования нефтяных залежей по трудам американских геологов. Ред. М. В. Абрамович. Баку, 1938.
Проблемы формирования и устойчивости горных склонов. Изд-во МГУ, 1967.
Пустовалов Л. В. Геохимические фации и их значение в общей и прикладной геологии.— Пробл. сов. геол., 1933, № 1.
Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород, т. 1, 2. М.— Л., 1940.
Пыляев М. И. Драгоценные камни, их свойства, местонахождение и употребление. СПб., 1888.
Пэк А. В. Трещинная тектоника и структурный анализ. М., Изд-во АН СССР, 1939.
Равикович А. И. Развитие основных теоретических направлений в геологии XIX века.— Труды ГИН АН СССР, 1969, вып. 169.
Радкевич Е. А. К вопросу о типах металлогенических провинций. В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Радкевич Е. А. О типах вертикальной и горизонтальной зональности.— Сов. геол., 1959, № 9.
Рельеф Земли. Отв. ред. *И. П. Герасимова, Ю. А. Мещерякова.* М., «Наука», 1967.
Риччиарди. Вулканизм в мифологии и в науке. Пер. с итальянского. Воронеж, 1915.
Родионова К. Ф. Органическое вещество и нефтематеринские породы девона Волго-Уральской области.— Труды ВНИГНИ, 1967, вып. 53.
Розовский Л. Б. Вопросы теории геологического подобия и натурного моделирования. Одесса, 1962.
Романовский Г. Д. О происхождении и внутреннем устройстве горных кряжей.— Горн. журн, 1854, № 4.
Ронов А. Б. История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР (по данным объемного метода). М., Изд-во АН СССР, 1949.
Ронов А. Б., Хаин В. Е. Палеогеография и литологические формации материков в мезозое. В сб. «Региональная палеогеография». Междунар. геол. конг. XXI сессия. Докл. сов. геологов. Проблема 12. М., Госгеолтехиздат, М., 1960.
Рухин Л. Б. Основы литологии. Л.— М., Гостоптехиздат, 1953.
Рухин Л. Б. Основы общей палеогеографии. Л., Гостоптехиздат, 1959.
Рыбаков Б. А. Ремесло Древней Руси. М., 1948.
Саваренский Ф. П. Инженерная геология. Геолиздат, 1937, Изд 2-е, 1939.
Саваренский Ф. П. Избранные сочинения. М., Изд-во АН СССР, 1950.
Савченко Ф. П. Условия формирования залежей нефти и газа при струйной миграции в водонасыщенных породах.— Труды ВНИИ, 1958, вып. XIV.
Самойлов Я. В. К минералогии фосфоритовых месторождений.— Труды Комиссии по изучению фосфоритов, 1910—1920, т. III, IV, VI, VII.
Самойлов Я. В. Биолиты. Л., 1929.
Сауков А. А. Геохимия. М., «Наука», 1966.
Свитальский Н. И. Серебро-свинцовые месторождения северо-восточной части Нерчинского горного округа.— Материалы общей и прикл. геол., 1919, вып. 36.
Свитальский Н. И. Курс рудных месторождений.— Л.—М., 1933.
Севастьянов А. Ф. Геогнозия, или наука о горах и горных породах. С присовокуплением наставлений путешествующему геологу, почерпнутых из 4-го тома путешествия г. Сосюра по Альпийским горам. СПб., 1810.
Севергин В. М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел, кн. I. СПб., 1798.
Севергин В. М. Подробный словарь минералогический, содержащий в себе подробное изъяснение всех в минералогии употребительных слов и названий, также все в науке сей учиненные новейшие открытия, т. I—II. СПб., 1807.
Севергин В. М. Опыт минералогического землеописания Российского государства, ч. I, II. СПб., 1809.
Севергин В. М. Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках. СПб., 1816.
Севергин В. М. Начертание технологии минерального царства, т. I, II. СПб., 1821—1822.
Седлецкий И. Д. Коллоидно-дисперсная минералогия. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1945.
Селезнев В. И. Производство и украшение изделий в настоящем и прошлом (керамика). СПб., 1894.
Семенов М. П. Инженерно-геологические исследования для крупного промышленного строительства. М., Госстройиздат, 1952.
Семенов М. П. Основные задачи и опыт инженерно-геологических изысканий в районах распространения скальных горных пород. Материалы к совещанию по инженерно-геологическим особенностям строительства плотин и водохранилищ Грузии, т. II. Тбилиси, 1959.
Семихатов А. Н. Артезианские и глубокие грунтовые воды Европейской части СССР. (прил. к русск. изд.) книги Г. Гефера «Подземные воды и источники». М., 1925.
Сергеев Е. М. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1952.
Сидоренко А. В., Лунева О. И. К вопросу о литологическом изучении метаморфических толщ. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1961.
Силин-Бекчурин А. И. Динамика подземных вод (с основами гидравлики). Изд. 2-е, перераб. и доп. Изд-во МГУ, 1965.
Скок В. И. Причины метаморфизма ископаемых углей и опыт классификации основных типов его. В кн. «Геология углей Сибири и Дальнего Востока». М., «Наука», 1965.
Смирнов В. И. Металлогения геосинклиналей.— В сб. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 5. М., Изд-во АН СССР, 1962.
Смирнов В. И. Очерк металлогении. М., Госгеолтехиздат, 1963.
Смирнов В. И. Порядок эндогенной рудной зональности.— В кн.: «Проблемы постмагматического рудообразования», т. 1. Прага, 1963.

Смирнов С. С. К вопросу о зональности рудных месторождений.— Изв. АН СССР, 1937, № 6.
Смирнов С. С. О Тихоокеанском рудном поясе.— Изв. АН СССР, 1946, № 2.
Соболев В. С. Понятие «вида» в минералогии.— Минер. сб. Львовск. геол. об-ва, 1957, № 1.
Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Львов, 1949.
Совещание по проблемам инженерно-геологического районирования и картирования. Изд-во МГУ, 1962.
Соколов В. А. Газовая съемка. Л., ОНТИ НКТП, Главная ред. горнотопливн. лит-ры, 1936.
Соколов Г. А. Хромиты Урала, их состав, условия кристаллизации и закономерности распространения.— Труды ГИН АН СССР, 1948, вып. 97.
Соколов Д. И. О металлоносных Сибирских песках.— Отеч. зап. 1823, ч. 13, № 34, 35.
Соколов Д. И. Мысли об Уральских золотоносных россыпях.— Горн. журн., 1826, № 12.
Соколов Д. И. Руководство к минералогии с присовокуплением статистических сведений о важнейших солях и металлах, ч. 1—2. СПб., 1832.
Соколов Д. И. Курс геогнозии, ч. I—II. СПб., 1839—1842.
Соколов Д. И. Руководство к геогнозии, ч. 1—2. СПб., 1842.
Соколовский Л. А. Об изменении горнокаменных пород в прикосновении с рудными толщами.— Горн. журн., 1836, ч. 4, кн. II.
Соловьев Ю. И., Куриной В. И. Якоб Берцелиус (жизнь и деятельность). Изд-во АН СССР, М., 1961.
Соловьев Ю. Я. Возникновение и развитие палеогеографии в России. М., «Наука», 1966.
Спиро Н. С., Грамберг П. С. О связи между составом карбонатов глинистых пород и фациальными условиями осадкообразования. Труды НИИГА, 1959, 98.
Стадников Г. Л. Глинистые породы. М., Изд-во АН СССР, 1957.
Стенон Н. О твердом, естественно содержащем в твердом. Серия «Классики науки». М., Изд-во АН СССР, 1957.
Степанов Д. Л. Основные проблемы стратиграфии. Труды Юбил. научн. сессии, секция геол.-почв. наук, Л., 1946.
Степанов Д. Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований. Л., Гостоптехиздат, 1958.
Степанов П. И. Некоторые закономерности стратиграфического и палеогеографического распределения геологических запасов ископаемых углей на земном шаре. Труды XVII сессии Междунар. геол. конгр., т. I. М., ГОНТИ, 1939.
Страхов Н. М. О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах. Бюлл. МОИП, отд. геол., 1945, 20, № 3—4.
Страхов Н. М. Типы климатической зональности в послепротерозойской истории Земли и их значение для геологии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 3.
Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. т. 1—3. М., Изд-во АН СССР, 1960—1962.
Страхов Н. М. Развитие литогенетических идей в России и СССР (критический обзор). М., «Наука», 1971.
Стрижов И. Н. О запасах нефти Грозненского месторождения.— Грозн. торгово-промышленный бюллетень, 1905, № 141.
Твалчрелидзе Г. А. Эндогенная металлогения Грузии. М., Гостехиздат, 1961.
Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков. Пер. М.— Л., 1936.
Тезисы докладов на Первом Всесоюзном совещании по геотермическим исследованиям в СССР, 1—6 марта 1956 г. М., Изд-во АН СССР, 1956.
Тейс Р. В., Чупахин М. С., Найдин Д. П. Определение палеотемператур по изотопному составу кислорода в кальците раковин некоторых меловых ископаемых Крыма.— Геохимия, 1957, № 4.
Теодорович Г. И. Осадочные геохимические фации.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1947, 22, № 1.
Теплофизика промерзающих и протаивающих грунтов. М., «Наука», 1964.
Терцаги К. Строительная механика грунтов. Стройиздат, 1933.
Теряев А. М. История минералогии. СПб., 1819.
Тетяев М. М. Основы геотектоники. Изд. 1-е, ГОНТИ, 1934; изд. 2-е, Госгеолиздат, 1941.
Тихомиров В. В. Геология в России первой половины XIX века. т. I., 1960; т. II, 1963, М., Изд-во АН СССР.
Тихомиров В. В. О важнейших факторах развития геологии на разных этапах ее истории.—Изв. АН СССР, серия геол., 1966, № 10.
Тихомиров В. В. Опыт анализа процесса развития геологии как науки.— Изв. АН СССР, серия геол., 1970, № 4.
Тихомиров В. В., Хаин В. Е. Краткий очерк истории геологии. М., Госгеолиздат, 1956.
Токарев А. Н., Щербаков А. В. Радиогидрогеология. М., Госгеолиздат, 1956.
Толстихин Н. И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы. Под ред. Н. Ф. Погребова. М.— Л., Госгеолиздат, 1941.

Траутшольд Г. А. Суглинок и элювиальные образования Московской губернии.— Изв. об-ва любителей естествозн. т. X, вып. 1. М., 1872.
Траутшольд Г. А. Основы геологии, ч. 3. Стратиграфия. М., 1877.
Трещиноватые породы и их коллекторские свойства.— Труды ВНИГРИ, 1958, вып. 121.
Трофимук А. А. Урало-Поволжье — новая нефтяная база СССР. М., Гостоптехиздат, 1957.
Труды Комитета по вечной мерзлоте, т. 1—10. М., Изд-во АН СССР, 1932—1940.
Труды Особой экспедиции Лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водяного хозяйства в степях России, вып. 1—19. Под ред. В. В. Докучаева, СПб., 1893—1898.
Тугутт С. И. О химическом строении некоторых алюмосиликатов. Юрьев, 1894.
Удинцев Г. Б. Геоморфология и тектоника дна океанов.— В кн. «Основные проблемы океанологии». М., «Наука», 1968.
Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск, 1931.
Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза. Западносибирского края. Томск, 1936.
Усов М. А. Геотектоническая теория саморазвития Земли.— Изв. АН СССР, серия геол., 1940, № 1.
Усов П. С. Метаморфические горные породы и способ их происхождения.— Горн. журн., 1848, № 11—12.
Успенская Н. Ю. Некоторые закономерности нефтегазонакопления на платформах. М. — Л., Гостоптехиздат, 1952.
Федоров Е. С. Симметрия правильных фигур.— Зап. СПб. минер. об-ва, серия 2, 1891, ч. 28.
Федоров Е. С. Теодолитный метод в минералогии и петрографии.— Труды Геол. ком., 1893, **10**, № 2.
Федоров Е. С. Курс кристаллографии. СПб., 1901.
Федоров Е. С. Из итогов тридцатипятилетия. М., 1904.
Федоров Е. С. Разум и инстинкт.— Природа, 1915, июль — август.
Федоров Е. С. Царство кристаллов. Таблицы по кристаллохимическому анализу.— Зап. Акад. наук по физ.-мат. отд., 1920, VIII серия, **34**.
Федоров С. Ф. Очерки по истории геологии нефти. М., Изд-во АН СССР, 1953.
Федоровский Н. М. Генетическая минералогия. Пг., 1920.
Ферсман А. Е. Геохимия, т. 1—4. М., Госхимтехиздат, 1933—1939.
Ферсман А. Е. Система эков.— Докл. АН СССР, 1935, **2**, № 8—9.
Ферсман А. Е. Направленный (полярный) изоморфизм. Докл. АН СССР, 1936а, **1**, № 3.
Ферсман А. Е. Цвета минералов. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1936б.
Ферсман А. Е. Пегматиты. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1940.
Ферсман А. Е. К столетию геохимии.— Советская наука, 1941, № 2.
Ферсман А. Е. Избранные труды, т. I—VII. М., Изд-во АН СССР, 1952—1962.
Ферсман А. Е. Очерки по истории камня. Т. 1—2. М., Изд-во АН СССР, 1954—1961.
Ферсман А. Е. Виктор Гольдшмидт.— Зап. Всес. минер. об-ва, 1958, ч. 87.
Флоровская В. Н. Введение в люминесцентную битуминологию. Л., Госгеолиздат, 1946.
Форстер. Некоторые замечания доктора Форстера о вулканах.— Журн. Мин-ва нар. просв., 1834, ч. 4, отд. VI.
Хабаков А. В. Динамическая палеография, ее задачи и возможности.— Литол. сб. ВНИГРИ, 1948, вып. 1.
Хаин В. Е. Геотектонические основы поисков нефти. Баку. Азнефтеиздат, 1954.
Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., «Недра», 1964.
Ханин А. А. Основы учения о породах-коллекторах нефти и газа. М., «Недра», 1965.
Хитаров Н. И. О состоянии остаточного магматического раствора.— Сов. геол., 1939, сб. 7.
Циттель К. Первобытный мир. Очерки по истории мироздания. СПб., 1873.
Чирвинский П. Н. Искусственное получение минералов в XIX столетии. Киев, 1903—1906.
Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1955.
Шатский Н. С. О неокатастрофизме.— Пробл. сов. геол., 1937, № 7.
Шатский Н. С. Очерки тектоники Волго-Уральской области и смежной части западного склона Урала. М., 1945.
Шатский Н. С. Основные черты строения и развития Восточно-Европейской платформы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 1.
Шатский Н. С. Гипотеза Вегенера и геосинклинали.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 4.
Шатский Н. С. О длительности складкообразования и о фазах складчатости.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 1.
Шафрановский И. И. Формы кристаллов.— Труды ин-та кристаллогр. АН СССР, 1948, вып. 4.

Шафрановский И. И. Кристаллы минералов. М., Гостехиздат, 1961.
Шафрановский И. И. История кристаллографии в России. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1962.
Шафрановский И. И. История и пути развития минералогической кристаллографии.— Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1966, 50, вып. 2.
Швецов М. С. Петрография осадочных пород. Изд. 3-е. М., 1958.
Шибольд Э. Структура силикатов.— В сб. «Основные идеи геохимии», вып. 3. Л., ОНТИ, 1937.
Шнейдерхен Г. Генетическая классификация месторождений на геотектонической основе.— В кн. «Рудные регенерированные месторождения». М., Ил, 1957.
Штебер Э. О. О происхождении нефти из продуктивной эманации Земли.— Изв. Сев.-Кавказск. пед. ин-та, 1924, т. II.
Штини И. Тектоническая геология. М., Госиздат, 1925.
Штукенберг А. А. Европейская Россия прошлых геологических эпох. Речь, произнесенная в торжественном годичном собрании Казанского университета, 5 ноября 1878 г. Казань, 1878.
Шубников А. В. Как растут кристаллы. М., Изд-во АН СССР, 1935.
Шульц С. С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. М., Географгиз, 1948.
Щеглов Н. Краткое рассмотрение огненных явлений, из внутренности Земли исходящих; или о вулканах и их явлениях вообще. СПб., 1823.
Щеголев Д. И. Рудничные воды. М.— Харьков, Углетехиздат, 1948.
Щеголев Д. И., Толстихин Н. И. Подземные воды в трещиноватых породах (на опыте изучения Северного Казахстана и Забайкалья). Л.— И., ГОНТИ, 1939.
Щербина В. В. Геохимия. М., Изд-во АН СССР, 1939.
Эйхвальд Э. И. Геогнозия преимущественно в отношении к России. СПб., 1846.
Экзогенные эпигенетические месторождения урана. М., Атомиздат, 1965.
Эммонс В. Х. О механизме образования некоторых систем металлоносных жил, связанных с гранитными батолитами.— В сб. «Геология рудных месторождений западных штатов США». М.— Л., ГОНТИ, 1937.
Энгельгард М. Ф. Начальные основания естественной истории и землеописания, отд. 1. Дерпт, 1839.
Энгельс Ф. Диалектика природы. М., Госполитиздат, 1955.
Якубов А. А. Грязевые вулканы Азербайджана и их связь с нефтяными месторождениями (на азербайджанском языке).— Изд. АН Азерб.ССР, 1948.
Яншин А. Л. Тектоническая карта Евразии. Междунар. геол. конгр. XXII сессия. Доклады советских геологов. М., «Наука», 1964.
Яншин А. Л. Общие особенности строения и развития молодых платформ. В кн. «Молодые платформы, их тектоника и перспективы нефтегазоносности». М., «Наука», 1965.
Яншин А. Л. Тектоническое строение Евразии.— Геотектоника, 1965, № 5.
Яншин А. Л., Гарецкий Р. Г. Тектонический анализ мощностей.— В кн. «Методы изучения тектонических структур», т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1960.
Abel O. Grundzüge der Paläobiologie der Wirberltiere. Stuttgart, 1912.
Abich H. Uber die geologische Natur des Armenischen Hochlands. Dorpat, 1843.
Adams F. D. The birth and development of the geological sciences. N. Y., 1954.
Ahrens H. Longnormal distribution of the elements.— Geochim. et cosmochim. acta, 1954, N 5—6.
American Commission on stratigraphic Nomenclature, 1961.— Code of Stratigraphic Nomenclature.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1961, 45.
Ampferer O. Uber das Bewegungsbild von Faltengebirge.— Jahrb. K. K. Geol. Reichsantalt, 1906, Bd. 56.
Andrussow N. Die südrussischen Neogenablagerungen, Teil I—IV.— Зап. Минер. об-ва, 1896—1906. 34, 36, 39, 42.
Argand E. La tectonique de l'Asie.— Compt. rend. Congr. géol. internat. Liege, 1922.
Argand E. Sur l'arc des Alpes occidentales.— Ecl. geol. helv., 1966, 14.
Arldt Th. Handbuch der Palaeogeographie. Leipzig. Bd. I. Palaeoaktologie, 1919; Bd. II. Palaeogeographie, 1922.
Arzruni A. E. Physikalische Chemie der Kristalle. Brunswick, 1893.
Ashley G. H., Cheney M. G. a. oth. 1933. Classification and nomenclature of Rock Unit.— Bull. Geol. Soc. America, 1933, 44.
Aubouin J. Geosynclines. Amsterdam, Elsevier, 1965.
Balk R. Structural behaviour of igneous rocks.— Mem. Geol. Soc. America, 1937, N 5.
Bateman A. M. Magmas and ores.— Econ. Geol., 1940, 37.
Beeby-Thompson A. Oilfield of Russia, v. I, 1904; v. II, 1908.
Bemmelen R. W. van. Orer de genetische classificate van negative vulkanvormen.— Geologie en mijnlow, 1932, No. 1.
Bemmelen R. W. van. The Undation theory of the development of the Earths crust.— Proc. XVI Internat. Geol. Congr., v. I. Washington, 1933 (1935).

Bemmelen R. W. van. The volcano-tectonic origin of Lake-Tobe (North Sumatra),— De Ingenieur in Nederlandsch.-Indie IV Mijnbouwm om geologie «De Mijningmieur» (de Laargeng) No 9, Sept. 1939.
Bemmelen R. W. van. Der gegenwartige Stand der Undationstheorie.— Mitt. Geol. Ges. Wien, 1965, **57**, H. 2.
Bergmann T. Skiagraphia regni meniralis. Upsala, 1782.
Beroldingen F. Beobachtungen. Zweifel und Fragen. die Mineralogie, besonders sein natürliches System betreffend. Hannover, 1778, 2. Aufl. 1792.
Bertrand M. Sur la déformation de l'écorce terrestre.— C. r. Acad. sci., 1892, t. CXIV.
Berzelius I. J. Versuch durch Anwendung der elektrisch-chemischen Theorie und der chemischen Verhältnisslehre ein rein wissenschaftliches System der Mineralogie zu begründen. Nürnberg, 1815.
Berzelius I. J. Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen. Dresden, 1820.
Beyschlag F., Krusch P., Vogt I. H. L. The deposits of the useful minerals and rocks, their form and content. London, 1914—1916.
Bischof C. G. Natural history of volcanoes. 1838.
Bischof C. G. Lehrbuch der chemische und physikalischen Geologie. Bd. I. 1847; Bd. II, Abt. I, 1851.
Blum J. R. Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. Stuttgart, 1843.
Bogdanowitsch K. Geologische Skizze, von Kamtschatka.— Petermanns geogr. Mitt., 1904, H. 3.
Boué Ami. Mémoire géologique sur l'Allemagne. Paris, 1822.
Bowen N. The evolution of the ingenous rocks. Princeton Univ. Press, 1928.
Boyll R. W. The geochemistry, origin and role of carbon dioxide, water sulphur, and boron in Yellowknife gold deposits North-West territories Canada. Econ. Geol., 1959, **54**, N 8.
Bragg W. L. Atomic structure of minerals. Oxford Univ. Press, 1937.
Brandenberger E. Die Klassifikation der chemischen Verbindungen auf stereochemischer Grundlage.— Chimia, 1948, **2**, N 6—7.
Bravais A. Études cristallographiques. Paris, 1866.
Breger I. A. Organic geochemistry. N. Y., 1963.
Breislak. Lehrbuch der Geologie. Bd. I (Introduzione alla Geologie, 1811), übers. von F. K. v. Strombeck. Braunschweig, 1819, S. 2.
Breithaupt J. F. Die Paragenesis der Mineralien. Freiberg, 1849.
Brochant de Villiers. Traité élémentaire de minéralogie suivant les principes du Professeur Werner. 1800.
Brögger. W. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen. 1920.
Brongniart Al. Essai d'une classification minéralogique des roches mélangéss.— J. mines, 1813, **34**, N 199.
Brongniart Al. Classification et charactères minéralogiques des roches homogènes et hétérogénes. Paris, 1927.
Brongniart Al. Tableau des terrains qui composent l'écorce du globe, ou essai sur la structure de la partie connue de la Terre. Paris, 1829.
Brooks C. E. P. Climate through the ages. Ed. 2. London, 1950.
Buch L. Physikalische Beschreibung der Canarischen Inseln.— Berlin, 1825.
Buch L. Ueber Dolomit als Gebirgsart.— Leopold Buch's gesamte Schrifte, Bd. III. Berlin, 1887.
Bucher W. H. Deformation of the Earth's crust. Princeton Univ. Press, 1933.
Buddington A. F. High-temperature mineral association at shallow to moderate depth.— Econ. Geol., 1935, **30**.
Buffon G. L. L. Histoire naturelle générale et particulière. T. I. Histoire et theorie de la terre. Paris, 1749.
Buffon G. L. L. Les époques de la Nature, t. I. Paris, 1778.
Bunsen R. Uber die Prozesse des vulkanischen Gesteinsbildungen Islands.— Ann. Phys. Chem., 1851, **83**, N 197 (185).
Cayeux L. Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Paris, 1897.
Cayeux L. Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. Paris, 1916.
Cayeux L. Atlas. Paris, 1931.
Cayeux L. Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées. Paris, 1935.
Chave Keith E. Evidence on history of sea water from chemistry of deeper subsurface water of ancient basins.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1960, **44**, N 3, pt I.
Clarke F. W. The date of geochemistry. 5 ed Washington, 1924.
Cloos H. Geologie des Schollen in schlesischen Teifengesteinen.— Abh. Preuss. Geol. Landesanst., N. F., 1920, **81**.
Cloos H. Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge. Braunschweig, Sammlung Vieweg, 1921.

Cloos H. Zur Terminologie der Plutone.— Fennia, 1928, 50.
Cloos H. Grundschollen und Erdnahte.— Geol. Runschau, 1948, 35.
Coleman H. S., Wilde H., Moore T. Quantitative effect of gas-oil ratios on decline of average rock pressure.— Trans A. I. M. E., 1920, 86, N 174.
Coquand H. Traité des roches considérées au point de vue de leur origine, de leur composition et de leur gisement. Paris, 1857.
Conybeare W. D., Phillips W. Outlines of the geology of England and Wales etc. London, 1822.
Cordier P. Distribution méthodique des substances volcaniques dites en masse.— Paris, 1815—1816.
Cordier P. Mémoire sur les substances minérales, dites en masse, qui entrent dans la composition des roches volcaniques de tous les âges.— J. mines, 1816, 15.
Cotta B. Geologische Fragen. Freiberg, 1858.
Cotta B. Geologische Bilder. Leipzig, 1852.
Cotta B. Die Lehre von der Erzlagerstätten, 1859.
Cronstedt A. Mineralogie; eller Mineral-Rikets Upstallning. Stockholm, 1758.
Cross W. Quantitative classification of igneous rocks. Chicago, 1903.
Cross W., Iddings I., Pirsson L., Washington H. Quantitative classification of igneous rocks based on chemical and mineral characters, with a systematic nomenclature. With an introductory review of the development of systematic petrography in the nineteenth century by W. Cross. Chicago, 1903.
Cuvier G. Discours sur les revolutions de la surface du globe. Paris, 1812.
Dacqué E. Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena, 1915.
Daly R. A. Igneous rocks and their origin. N. Y., 1914.
Daly R. Igneous rocks and the depths of the earth. N. Y., 1933.
Dana J. D. United States Exploring Expedition, during the years 1838, 1839, 1840, 1841 1842, under the command of Charles Wiles, U. S. N., v. X. On the Nature of Volcanic Eruptions. Philadelphia, 1849.
Dana J. D. System of mineralogy. Ed. 5—6. N. Y., 1868—1892. Appendix 1—3, 1872—1882; Appendix 1—3, 1899—1905.
Dana J. On some results of the earth's contraction from cooling.— Amer. J. Sci., 3 ser., 1873, N 5—6.
Dannenberg A. Die vulcanischen Erscheinungen im Lichte der Stubel'schen Theorie.— Naturwiss. Rundschau, 1901, 16, N 1, 2, 3.
Darcy H. Les fontaines publiques de la vielle de Dijon.— Paris, Dalmont, 1856.
Darvin Ch. Geological observations on the Volcanic Islands. London, 1844.
D'Aubisson de Voisins J. F. Traité de géognosie, t. I—II. Strasbourg, Paris, 1819.
D'Aubuisson. Traité de géognostique. 1838. A. Burant (Ed.) (с дополнениями V. Fournet).
Daubrée A. Mémoire sur le gisement, la constitution et l'origin des amas de minérals d'étain. — Ann. mines, 1841, 20.
Daubrée A. Etudes et expériences systhetiques sur le métamorphisme et sur la formation des roches cristallines. Paris, 1860.
Daubrée A. Recherches expérimentales sur le rôle possible des gaz à hautes températures — doués de très fortes pressions et animés d'un mouvement fort rapide dans, divers phénoménes géologiques.— Bull. Soc. géol. France, 3-e sér., 1891, XIX.
Degens E. T. Geochemistry of sediments. 1965.
De Launay L. Formation des gites métallifères. Paris, 1893.
De Launay L. Recherche, captage et aménagement des sources thermominérales. Paris, 1899.
De Launay L. L'or dans le monde. Paris, 1907.
Descartes R. Philosophische Werke. Die Prinzipien der Philosophie. Berlin, 1870.
Deshayes P. Tableau comparatif des espèces de coquilles vivantes avec les espéces de coquilles fossiles des terrains tertiares de l'Europe, et des espèces de fossiles de ces terrains entr'aux.— Bull. Soc. géol. France, 1831, 1.
Dièner t F. Hydrologie agricole, 1918.
Dietz R. S. Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor.— Nature, 1961, 190.
Dittmar K. Die Vulkane und heissen Quellen Kamtschatkas.— Petermanns geogr. Mitt., 1860.
Doelter C. Handbuch der Mineral-Chemie, T. 1—4. Berlin, 1911—1931.
Dokoutchaeff V. Zones naturelles des sols. Zones agricoles. Sols du Caucase. SPb., 1900.
Dollo L. La paléontologie éthologique.—Bull. Soc. Belge géol., paleontol. hydrol. Bruxelles, 1909, 23.
Dolomieu D. Mémoire sur les pierres composées et sur les roches.— J. phys., 1791, XXXIX; 1792, XL.
D'Omalius d'Halloy J. B. Observations sur la classification des terrains.— Bull. soc. géol. France, 1831, 1.

D'Orbigny Al. Classification et principaux caractère minéralogiques des roches. Diction naire Universel d'Histoire Naturell, 1848.
D'Orbigny Al. Cours élémentaire du paléontologie et de géologie stratigraphiques t. 1—2. Paris, 1849—1852.
Donnenberg. Geologie der Steinkohlenlager. Bd. I, II, III. Berlin, 1921, 1930, 1941.
Dumont A. Sur, la valeur du caractére paléontologie en géologie (I).— Bull. Acad, roy. sci. Belgique, 1847, 14, N 1.
Dumont A. Note sur l'emploi des caractères géometriques résulté des mouvements lents du sol, pour établir le synchronisms des formations géologiques.— Bull. Acad. roy. sci. Belgique, 1852, 19, N 2.
Duparc L. Sur l' austraité», une pyroxénite riche en spinelles.— Bull. Soc. franç. minéral., 1913, 36.
Dupuit. Mémoire sur le mouvement de l'eau à travers les terrains perméables. Paris, 1857.
Durocher J. Etude sur le métamorphisme des roches.— Bull. Soc. géol. France, 1845—1846, 3.
Durocher J. Essais de pétrologie comparée, ou recherches sur la composition chimique et minéralogique des roches ignées sur les phénomènes de leur émission et sur leur classification.— Ann. mines, 1857, 5 sér., 11.
Du Toit A. L. Our wandering continents. Edinburgh, 1937.
Elie de Beaumont L. Coup d'oeil sur les mines. Paris, 1824.
Elie de Beaumont L. Recherches sur quelques-unes des revolutions de la surface du globe.— Ann. sci. natur., 1829, 18; 1830, 19.
Elie de Beaumont L. Note sur les émanations volcaniques et métallifères.— Bull. Soc. géol. France, 1847, 4.
Elie de Beaumont L. Notice sur la systèmes de montagnes, v. 1—3. Paris, 1852.
Emery K. O. Some potential mineral resources of the Atlantic Continental Margin.— Geol Survey Proffess. Papers, 525° C, 1965.
Emmons S. F. The genesis of certain ore deposits.— Trans. AIME, 1886—1887, 15.
Emmons W. Geology of petroleum. N. Y., 1921.
Emmons W. H. Primary downward changes in ore deposits.— AIME, 1924.
Emmons W. H. Hypogene Zoning in metalliferous lodes.— Internat. Geol. Congr., 16 sess., Washington, 1936.
Engler C. Zur Geschichte der Bildung des Erdols.— Ber. Dtsch. Chem. Ges., 1900, N 33.
Erman A. Reise um die Erde durch Nord-Asien und die beiden Oceane in den Jahren 1828, 1829 und 1830. Bd. III. Berlin, 1848.
Escher B. B. On the formation of calderas.— Leidsch. geol. med., 1929, 3.
Eskola P. On the differentiatial anatexis of rocks.— Compt. rend. Soc. géol. Finland, 1933, N 7.
Fayol H. Bassin houiler de Commontry.— Bull. Soc. ind. minerale, 1886, 15.
Fenner C. N. Tne Katmai region, Alaska and the great eruption of 1912.— J. Geol., 1920, 18.
Fenner C. N. The Katmai magmatic province.— J. Geol., 1923, 34.
Fitton W. Observations on some of the strata between the Chalk and the Oxford in the south coast of England.— Trans. Geol. Soc., 1836, ser. 2, IV.
Fouqué F. Recherches sur les phénomènes chimiques qui se produisent dans les volcans. Théses Fac. Sci. Paris, 1866.
Fouqué F. Santorin et ses eruptions. Paris, 1879.
Fouqué F., Michel-Lévy A. Synthese des minéraux et des roches. Paris, G. Masson, 1882.
Friesleben J. K. Geognostischer Beytrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges, T. I. Freiberg, 1807—1815.
Friedlander I. Uber vulkanische Verwerfungstaler.— Z. Vulkanol., 1915, 2.
Fuchs C. W. C. Die künstliche dargestellten Mineralien nach G. Rose Krystallo-chemischen Mineral System geordnet. Haarlem, 1872.
Furnet V. Etude sur les depots metallifères. Paris, ed. A. Burat, 1835.
Furon R. La paleogéographie. Essais sur l'evolution des continents et des oceans. Paris, 1941.
Gagel G. Die Caldera von La Palma. Berlin, 1908.
Garrels R. M. Mineral equilibria et low temperature and pressure. N. Y., Harper and Br., 1960.
Geikie A. The ancient volcanoes of Great Britain, v. 1, 2. N. Y., London, 1897.
Gester G. C. World petroleum reserves and petroleum statistisc. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1944, 28, N 10.
Gilbert G. K. Lake Bonneville.— U. S. Geol. Surv. Monographs, v. I, N XX, 1890.
Gmelin J. F. Grundriss einer Mineralogie. Göttingen, 1790.
Goldschmidt V. Atlas der Kristallformen, Bd. I—IX. Heidelberg, 1813—1923.
Goldschmidt V. M. Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente, I—VIII. Oslo, 1922—1926.

Goldschmidt V. M. Der Kreislauf der Metalle in der Natur.— Metallwirtschaft, 1931, X, N 14.
Goldschmidt V. M. Geochemistry. London, 1954.
Grabau A. W. Principles of stratigraphy. N. Y., 1913, p. 1185.
Graton L. C. The depth zones in ore deposition.— Econ. Geol., 1933, 28.
Graton L. C. Nature of the ore-forming fluid.— Econ. Geol., Suppl., No 2, 1940.
Green W. Vestiges of the molten globe, as exhibited in the figure of the earth, volcanic action and physiography. London, Stanford, 1875.
Gressly A. Observation géologiques sur le Jura Soleourois.— Neue Denkschr. Allg. Schweiz. Ges. Bd. II, IV, V, Neuchatel, 1838, 1840, 1841.
Griggs D. T. A theory of mountain building.— Amer. J. Sci., 1939, 237.
Grimm H. G. Isomorphie und Ionenbau.— Z. Elektrochem., 1922, 28.
Grimm R. Clay mineralogy. N. Y.— London, 1953.
Groddeck A. V. Die Lehre von den Lagerstätten der Erze. Leipzig, 1879.
Groth P. Chemische Kristallographie, Bd. 1—5. Leipzig, 1905—1919.
Groth P., Mieleitner K. Mineralogische Tabellen. München und Berlin, 1921.
Gümbel C. W. Beiträge zur Kenntnis der Texturverhältnisse der Mineralkohlen.— Sitzungsber. K. Bayer. Akad. Wiss. München, 1883.
Haarmann E. Die Oszillationstheorie. Stuttgarts F. Enke, 1930.
Haidinger K. Systematische Einteilungen der Gebirgsarten. Wien, 1787.
Haidinger W. Übersicht der Resultate mineralogischen Forschungen im Jahre 1843. Erlangen, 1845.
Haug E. Les géosynclinaux et les aires continentales.— Bull. Soc. géol. France, ser. II, 1900, 28.
Haug E. Traité de géologie, v. I—II. Paris, Colin, 1907—1911.
Haüy R. J. Essai d'une theorie sur la structure des cristaux. Paris, 1784.
Haüy R. J. Traité de minéralogie,. v. I. Paris, 1801
Hawkas H. E., Webb J. S. Geochemistry in mineral exploration. N. Y., 1962.
Heim A. Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. Bd. 1—2. Basel, 1878.
Hermann R. Heteromeres Mineral-System. 2 Aufl. Moskau, Leipzig, 1860.
Hess H. H. History of ocean basins. In: «Petrologic studies: A volume of honour A. F. Buddington». Geol. Soc. America, 1962.
Hiärne U. Kort Anledning till atskilllige Malm och Bergart. Stockholm, 1694.
Hilgenberg O. Vom wachsenden Erdball. Berlin, 1933.
Hilt C. Die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung und den technischen Eigenschaften der Steinkohle.— Z. Vereins Dtsch. Ingr. 1873, 17.
Hintze C. Handbuch der Mineralogie. t. 1—6. Berlin-Leipzig, 1898—1939.
Hobbs W. H. Repeating patterns in the relief and structure of the Earth.— Bull. Geol. Soc. America, 1911, 22, N 2.
Hobson J., Colombo O. Fundamental aspects of petroleum geochemistry. 1967.
Hoffmann C. A. S. Handbuch der Mineralogie (mit Mineralsystem A. G. Werner) Freiberg, 1811—1818.
Holmes A. Radioactivity and Earth movement.— Trans. Geol. Soc. Glasgow, 1931, XVIII.
Holmes A. The origin of primary lead ores.— Econ. Geol., N 6, 1937.
Hooke R. Lectures and discourses of earthquakes.— In «The posthumons works of d-r Robert Hooke». London, 1705.
Hopkins W. Researches in physical geologie.— Trans. Roy. Soc. London, 1839, 1840, 1842.
Hopkins Wm. Earthquakes and volcanic action. British Association Report, 1847.
Hölder H. Geologie und Paläontologie in Texten und ihrer Geschichte. Freiburg — München, 1960.
Hulin C. D. Metallization from basic magmas. A theory of genesis for hydrothermal and emanation types of ore deposits. — California Univ. Dept Geol. Sci. Bull., 1929, 18, N 9.
Humbold A. Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hemisphères. Paris, 1823.
Humboldt A. Uber den Bau und die Wirkungsart der Vulcane in verschiedenen Erdstrichen. Berlin, 1823.
Humbold A. Kleinere Schriften. Geognostische und physikalische Beobachtungen über die Vulkane des Hochlandes von Quito. Stuttgart und Tübingen, 1853.
Hummel K. Geschichte der Geologie. Berlin-Leipzig, 1925.
Hutton J. Theory of the earth; or an investigation of the laws observabie in the composition, dissolution and restoration of land upon the globe.— Trans. Philos. Soc. Edinburgh, 1788, I.
Hutton J. Theory of the earth. v. 1—2. London, 1795.
Joly J. The surface history of the Earth. 1924.
Judd J. On the ancient volcanoes of the district of Schemnitz in Hungarie.— Quart. J. 1876, 32.

Judd J. Volcanoes. London, 1881.
Kant J. Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels. 1755.
Keferstein Ch. Geschichte und Literatur der Geognosie. Halle, 1840.
Kegel W. Uber Richtprofile.— Z. Dtsch. geol. Ges., 1938, **90**, N 4.
Kerner-Marilaun F. Paläoklimatologie. Berlin, 1930.
Kirwan R. Elements of mineralogy. London, 1784—1810.
Knebel W. v. Uber die Lava Vulkane auf Island.— Z. Dtsch. geol. Ges., 1906.
Kobell F. Geschichte der Mineralogie. München, 1864.
Kober L. Bau und Entstehung der Alpen. Berlin, 1923.
Kober L. Der Bau der Erde. Berlin, 1926.
Kober L. Das apline Europa. Berlin, 1931.
Köppen W., Wegener A. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, 1924.
Kositzki M. Geognostische Beobachtungen in nordöstlichen Sibirien wärend der Jahre 1844 und 1845.— Vernandl. Russ. Min. Ges., 1848.
Kraus E. Die Entwicklungssgeshichte der Kontinente und Ozeane. Berlin, 1951.
Krumbein W. C., Garrels R. M. Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials.— J. Geol., 1952, **60**, N 1.
Ksiazkiewicz M. Outline of the palaeogeography in the Polish flysch Carpathians.— Prace Inst. igeol., 1960, t. XXX, N 11. Warszawa,
Lacroix A. Minéralogie de la France et des ses colonies, t. 1—5. Paris, 1893—1913.
Lacroix A. La Montagne Pelée et ses éruptions, v. I. Paris, 1904.
Lamarck I. B. Hydrogéologie... Paris, 1802.
Larsen E., Berman H. The microscopic determination of the nonopaque minerals. Washington, 1934.
Lasaulx A. Der Erdball als Ganzes und seine Beschaffenheit. Encyklopedie der Naturwissenschaften. Abt. 2, Lief. 5. Breslau, 1882.
Lasaulx A. Die Gebirge und ihre Entstehung. Handworterbuch Kenngott's, Bd. 2. Breslau, 1882.
Lehmann I. G. Versuch einer Geschichte von Flötz-Gebürgen; etc. Berlin, 1756.
Leibniz G. W. Protogeae, sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ispis naturae monumetis dissertation.— В кн.: «Opera omnia nune primum collecta in classses distributa, praefationbus Ex indicibus exornata, studio Ludovici Dutens». t. 2. Genevae, 1768.
Leonardo da Winci. Tagebücher und Aufzeichnungen. Leipzig, 1953.
Leonhard K. C. Charakteristik der Felsarten, Bd. I, 1823; Bd. 2. 3, 1824.
Leonhard K. C. Handwörterbuch der topographischer Mineralogie. Heidelberg, 1843.
Levorsen A. J. Stratigraphic versus structural accumulation.— Bull Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1936, **20**, N 5.
Lindgren W. Present tendencies of the story of ore deposits.— Econ. Geol., 1907, **2**.
Lindgren W. The relation of ore deposition to physical conditions.— Econ. Geol., 1907, **2**.
Lindgren W. Mineral deposits. N. Y., 1913.
Lindgren W. Concentration and circulation of elements from the standpoint of economic geology.— Econ. Geol., 1923, **18**.
Link H. Fr. Uver den Ursprung der Steinkohlen und Braunkohlen nach microskopischen Untersuchungen.— Sitzungsber. math.-natürwiss. Kl. K. preuss. Akad. Wiss. Berlin, 1838.
Lock A. Formation of certain ore bodies by mineralization spoping.— Econ. Geol., 1926, ? ·
Lock A., Billingslay P., Schmidt D. Some ideas of the occurrence of ore in the Western States.— Econ. Geol., 1934, N 6.
Lodochnikoff W. On L. Bowens paper: «Origin of the anortosites».— J. Geol., 1925, **33**.
Lossen K. Uber die Anforderungen der Geologie an die petrographische Systematik.— Jahrb. K. preuss. geol. Landesanst. und Bergakad. für 1883, 1884.
Lovering T. Rock alteration as a guide to ore East Tintic district, Urbana, Illinois.— Econ. Geol., 1949, v. IV.
Lovering T. Temperatures and depth of formation of sulfide ore deposits at Gilman, Colorado.— Econ. Geol., 1958, **53**, N 6.
Lowenstam H. A., Epstein S. I. Paleotemperatures of the postaption cretaceous as determined by the oxigen isotope method.— J. Geol., 1954, **62**, N 3.
Lyell Ch. Principles of geology. v. 1—3. London, 1830—1833.
Lyell Ch. On the Tertiary strata of Belgium and French Flanders. Part II. The Lower Tertiary of Belgium.— Quart. Geol. Soc. London, 1852, v. VIII.
Machatschki F. Spezielle Mineralogie auf geochemischer Grundlage. Wien, 1953.
Mallet R. Volcanic energy.— Philos. Trans., 1874, **163**, part I.
Martel E. A. Nouveau traité des eaux souterraines. Paris, 1921.
Mason B. Principles of geochemistry. 2 ed. N. Y., London, 1958.
Meinzer O. E. The occurrence of ground water. Washington, 1923a.
Meinzer O. E. Outline of groundwater hydrology, with definitions. Washington, 1923b.

Michel-Lévy. A. Détonation d'explosits et volcanisme. Similitude de leurs effets.— Bull. volcanol. s. II, t. I. Napoli, 1937.
Michel-Lévy A., Fouqué F. Minéralogie micrographique. Paris, 1879.
Miller R. L., Kahn I. S. Statistical analysis in the geological sciences. N. Y., London, 1962.
Mojsisovics E. Die Dolomit-Riffe von Sudtirol und Veneti. Wien, 1879.
Moro A. L. Neue Untersuchungen der Veränderungen des Erdbodens, nach Anleitung der Spuren von Meertieren und Meergewachsen, die auf Bergen und in trockener Erde gefunden werden. Leipzig, 1751.
Mrazec L. L'industrie du pétrole en Roumanie. Les gisements de petrole. Bucarest, 1910.
Munier-Chalmas, de Lapparent. Note sur la nomenclature des terrains sédimentaires.— Bull. Soc. géol. France, ser. 3, 1894, **21**, N 6.
Munn M. J. The Anticlinal and Hydraulis theories of the oil and gas accumulation.— Econ. Geol., 1909, **4**, N 6.
Murray J., Renard A. F. Report on deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of H. M. S. Challenger in the years 1872 to 1876. London, 1891, p. 523 + atlas.
Naumann C. F. Lehrbuch der Geognosie. Bd. I, 1850; Bd. II, 1854. Leipzig.
Necker A. L. An attempt to bring under general geological laws the relative position of metalliferous deposits with regard to the rock formations of which the crust of earth is formed.— Proc. Geol. Soc., 1826—1833, **1**.
Neumann P. M. von. Uber die Unterseevulkane der Erde. Ing. Nederl.-Indie, 5. IV Mijnb geol «De Mijning», 1939.
Niggli P. Systematik der Eruptivgesteine.— Cbl. Mineral., 1920, **16**.
Niggli P. Die Systematic der magmatischen Erzlagerstätten. Schweiz. Mineral und Petrol. Mitt., 1941, **21**.
Niggli P. Grundlagen der Stereochemie. Basel, 1945.
Niggli P. Probleme der Naturwissenschaften. Basel, 1949.
Oppel Alb. Die Jura-Formation Englands. Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands. Stuttgart, 1856—1858.
Orsel J. Essai sur la concept d'espèce et les classifications en minéralogie et petrographie.— Bull. Soc. Franç. minéral. et cristallogr., 1954, **77**, N 1—3.
Osann A. Beitrage zur Petrographie. II. Analysen der Eruptivgesteine aus den Jahren 1884—1900. Stuttgart, 1905.
Pavlov A. P. Le Crétacé inférieur de la Russie et sa faune.— Nouv. Mém. Soc. Imp. Naturalistes de Moscou, v. XIV (XXI), liv. 3, 1901.
Palache Ch. Present trends in mineralogy.— Bull. Geol. Soc. America, 1938, 48.
Palache Ch. Berman H., Frondel C. Dana's system of mineralogy, v. 1—2. N. Y., 1944—1951.
Pallas P. S. Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebirge und die Veränderungen der Erdkugel, besonders in Beziehungen auf das Russische Reich. St. Petersburg, 1777.
Pansner L. Resultate der Untersuchungen über die Härte und specifische Schwere der Mineralien. St. Petersburg, 1813.
Pettijohn F. J. Archaean sedimentations.- Bull. Geol. Soc. America, 1943, 54, N 7.
Pettijohn F. J. Paleocurrents and paleogeography.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologist, 1962, 46, N 8.
Praff F. Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft. Leipzig, Engelmann, 1873.
Phillips J. Memoir of Williams Smith, L. L. D. Author of the «Map of the Strata of England and Wales», 1844.
Phillips J. A. The rocks of the Mining district of Cornwall and their relation to metalliferous deposits.— Quart. J. Geol. Soc., 1875, **31**.
Pinkerton J. Petrology, a treatise on rocks. v. 1—2. 1811.
Playfair J. Illustrations of the Huttonian theory. 1802.
Posephy F. The genesis of ore deposits.— Trans. AIME, 1894, **23**.
Potonie H. Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt. 6. Aufl. Berlin, 1920.
Poullet-Scrope G. Considerations of volcanoes. London, 2 ed. 1872.
Pratt W. E. Distribution of petroleum in the Earth's crust.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1944, **28**, N 10.
Prévost C. A New Volcanic Island. Not Upheaved, v. II, 1835.
Prévost C. Bull. Soc. géol. France, t. 9. Séance de 18 décembre, 1837, p. 90—95, 1838.
Prévost C. Bull. Soc. geol. France, t. 10. Séance de 3 juin 1839, p. 340—348, 1839.
Pruvost P. Sedimentation et subsidence, Centenaire de la Societé Géologique de R.-France. Livre jubilaire 1830—1930. t. II. Paris, 1935.
Ramberg H. Gravity deformation and the Earth's crust. London — N. Y., Acad. Press, 1967.

Rammelsberg C. F. Handbuch der Mineralchemie. Leipzig, 1860.
Rammelsberg C. F. Handbuch der kristallographisch-physikalischen Chemie, t. 1—2. Leipzig, 1881—1882.
Rancame K. Isotope geology. N. Y., 1954.
Rancame K., Sahama T. G. Geochemistry. 3 ed. Chicago, 1955.
Reiss W., Stübel A. Reisen in Süd-Amerika. Berlin, 1903.
Renevier E. Tableau des terrains sédimentaires.— Bull. Soc. vaudoise sci. natur., 1873—1874. **XII—XIII**, N 70—72.
Renevier E. Les facies géologiques.— Arch. sci. phys. et natur., 3-e ser., 1884, t. XII.
Renevier E. Chronographe géologique.— Congr. géol. internat., 6-me sess., 1894. Zurich, Lausanne, 1897.
Researches in Geochemistry. Abelson (Ed.) N. Y., 1959.
Reuss F. A. Lehrbuch der Mineralogie. Leipzig, 1805.
Reviews of Research on arid zone hydrology. Paris, UNESCO, 1953.
Reyer E. Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine. Wien, 1877.
Rittmann A. Physico-chemical interpretation of terms magmae, migma, crust and substratum.— Bull. volcanol., ser. II, 1958, **19**.
Rogers H. D. An inquiry into the origin of the Appolachian Cola Strata, bituminous and anthracitic.— Proceedings and Transactions. Boston, 1843.
Rome de l'Isle. Essai de cristallographie. Paris, 1772.
Rome de l'Isle. Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du regne minéral. Paris, 1783.
Rosenbusch H. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. 1873.
Rutôt A. Les phénomènes de la sédimentation marine étudies dans leurs rapports avec la stratigraphie regionale.— Bull. Mus. R. Hist. natur. Belgique, 1883, t. II, N 1.
Sainte-Claire Deville Ch. Sur la nature et la distribution des fumerolles dans l'éruption du Vesuve du 1 mai 1855.— Bull. Soc. géol. France, 1856, 2-e sér. XIII.
Sandberger F. Zur Theorie der Bildung der Erzgänge.— Berg-und Hütten-Zeitung, 1877, Bd. XXXVI, N 44—45.
Sandberger F. Untersuchung über den Gehalt an schweren und edlen Metallen in Augiten, Hornblenden und Glimmern.— Neues Jahrb. Mineral., 1878.
Sandberger F. Neue Beweise für die Abstammung der Erze aus dem Nebengestein. 1883, Bd., XVIII, N 1. Phys. med. Ges. zu Wurzburg.
Sandberger F. Untersuchung über Erzgänge, Bd. I, 1882; Bd. II, 1885.
Sander B. Zu H. Cloos. Gegenkritik betr. Granittektonik.— Cbl. Mineral, Abt. B., 1927, N 3.
Sander B. Gefügekunde der Gesteine. Wien, 1930.
Sapper K. Vulkankunde. Einleitung von A. Bergeat. Stuttgart, J. Engelhorns 1927.
Scheerer T. Discussion sur la nature plutonique du granite et des silicates crystallins qui s'y rallient.— Bull. Soc. géol. France, 1847 Séance du 15 févr., 1847.
Schneiderhön H. Lehrbuch der Erzlagerstätten. Bd. I. Jena, Fischer, 1941.
Schneiderhön H. Genetische Erzlagerstättangliederung auf geotektonischer Grundlage. Neues Jahrb. Mineral Stuttgart.— Februar bis März, 1952.
Schneiderhön H. Erzlagerstättenbildung und Geotektonik.— Erzbergbau und Metallhüttenwesen, 1953, N 6.
Schuchert Ch. Paleogeography of North America.— Bull. Geol. Soc. America, 1910, **20**.
Schwartz G. Intergrowth of bornite and chalcopyrite.— Econ. Geol., 1931, **26**, N 2.
Schwartz G. Textures due to a mixing of solid solutions.— Econ. Geol., 1931, **26**, N 7.
Schwarzbach M. Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie. Stuttgart, 1950.
Sederholm J. J. Om granit och gneiss. Bull. Commis. géol. Finlande, 1907, **23**.
Sedwick A. On the May Hill Sandstone and the Paleozoic System of England.— London, Edinburgh and Dublin Philos. Mag. and J. Sci., 1854, ser. 4, v. III.
Shappell M. D. Cleavage of ionic minerals.— Amer. Mineralogist, 1936, **21**, N 2.
Short M. N. Microscopic determination of the ore minerals.— U. S. Geol. Surv. Bull., 1931.
Sloss L. L., Dapples E. C., Krumbein W. C. Lithofacies maps. An Atlas of the United States and Southern Canada. N. Y.— London, John Wiley a. Sons, 1960.
Smith P. V. Studies on origin of petroleum, occurrence of hydrocarbons in recent sediments. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologist, N 3, 1954.
Smith W. A memoir to the map and delimation of the Strata of England and Wales with part of Scotland. London, 1815.
Sohncke L. Entwicklung einer Theorie der Kristallstrukture. Leipzig, 1879.
Solle G. Anlage und Aufnahme des Wetteldorfer Richtschnittes. 9 Senckenbergiana, **1942**, **25**, N 4/6.
Sonder R. Die Lineamenttektonik und ihre Probleme.— Ecl. Geol. Helv., 1938, **31**, N 1.
Sorby H. C. On the microscopical structure of crystal indicating the origin of minerals and rocks.— J. Geol. Soc., 1858.

Spallanzani L. On Rasaltiform Lavas and the role of gases in volcanic eruptions. Travels in the Two Sicilies. London, 1798.
Spurr J. E. The ore magmas. N. Y., 1923a.
Spurr J. E. The origin of concentrations by magmation.— Econ. Geol., 1923б, XVIII, N 7.
Staub R. Ueber Faciesverteilung und Orogenese in der Schweizer Alpen.— Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F. 46, 1917.
Staub R. Der Bau der Alpen.— Beitr. Geol. Karte Schweiz, 1924, N. F. 52.
Staub R. Bewegungsmechanismus der Erde. Berlin, 1928.
Steiner W. Zur Geschnichte der geologischen Karte.— Z. angew. Geol., 1957, **3**, H. 8/9.
Stelzner A. W. Die Lateralsecretions-Theorie und ihre Bedeutung für das Pribramer Ganggebiet.— Jahrb. Bergakad., 1889.
Sterry T. Hent. The geognostic history of metals. AIME, 1873.
Stevenson J. J. The formation of coal beds.— Proc. Amer. Philos. Soc., 1911, **50**; 1912, **51**.
Stille H. Grundfragen der vergleichende Tektonik. Berlin, Borntraeger, 1924.
Stille H. Einführung in der Bau Amerikas. Berlin, Borntraeger, 1941.
Stille H. Die assyntische Tektonik im geologischen Erdbild. Beitr. geol. Jahrb., 1958, H. 22.
Stopes M. C. On the four visible ingredients in bonded bituminous coal.— Proc Roy. Soc. B, 1919, **90**.
Strachy J. An account of the Strata in Coal-Mines.— Philos. Trans., 1725, **33**.
Strukturbericht. Bd. I—VII. Leipzig, 1931—1943.
Strunz H. Mineralogische Tabellen. Leipzig, 1957.
Stübel A. Die Vulkanberge von Ecuader. 1897.
Stübel A. Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart.— Mitt. Mus. Volkerkunde Leipzig, Abt. Länderkunde. Leipzig, 1901.
Stübel A. Uber die genetische Verschiedenheit vulkanischer Berge. Leipzig, 1903.
Stübel A. Der Vesuv.—Veröff. stadt. Museums Landerkunde Leipzig, 1909.
Studer B. Geologie der westlichen Schweizer-Alpen. Heidelberg und Leipzig, 1834.
Studer B. Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie, Bd. II. 1847.
Sullivan C. Y. Ore and granitization.— Econ. Geol., 1948, **43**, N 6.
Sullivan C. Y. Metallic melting point and ore deposition.— Econ. Geol., 1956, **49**, N 6.
Sullivan C. Y. The origin sulphide pres.— J. Eng. a. Min. Inst. 1960, **161**, N 6.
Suess E. Die Entstehung der Alpen. Leipzig— Wien, 1875.
Suess E. D. Das Antlitz der Erde. Bd. 1—3. Wien, 1885—1909.
Suess E. Ueber heisse Quellen.— Verh. Ges. Dtsch. Naturforscher u. Arzte in Karlsbad, 1902. Leipzig, 1903.
Suess F. E. Bericht über einige geologische Exkursion nach Hauzenberg im Bayerischen Walde (Ein Beitrag zur Kritik der sog. Granittektonik), Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien. Math.-naturwiss. Kl., Abt. A, 1925, **134**.
Szadeczky-Kardoss E. A genetical system of igneous rocks. Internat. Geol. Congr. XXI Session. Reports. Problem 13, 1960.
Taylor F. B. Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan.— Bull. Geol. Soc. America, 1910, **21**.
Teichmüller M., Teichmüller R. Geological causes of coalification. 1966.
Termier P. Sur la necessité d'une nouvelle interpretation de la tectonique des Alpes franco-italiennes.— Bull. Soc. géol. France, 1907, **7**.
Tertsch H. Das Geheimnis der Kristallwelt. Wien, 1947.
Thode H. D., Monster J., Dunford H. B. Sulfur isotope abundances in petroleum and associated materials.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1958, **42**, N 11, November.
Thomson W. On the rigidity of the Earth.— Philos. Trans. Roy. Soc. London, 1864, **153**.
Thorodsen Th. Island.— Petermans Mitt., 1906. Ergänzungsband 32, H. 152—153.
Thorodsen Th. Die Geschichte der Isländischen Vulkane. (Nach einem nachgelassenen Manuskipt). Mem. Acad. sci et letters Danemark. Section des Schienes, 8/9 D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter, naturvidensk. og mathem. Afd. 8 Rackke 9, Copenhague, 1925.
Trask P. D. Origin and environment of source sediments of petroleum, 1932.
Trautschold H. A. Nomenclator palaeontologicus der Jurassischen Formation in Russland. M., Buchdruckerei Univ., 1863.
Treibs A. Chlorophyl and Hüminderivate in bituminosen Gestein, Erdölen, Erdwaschen und Asphalten.— Liebigs Ann. Chem., 1934.
Trumpy R. Paleotectonic evolution of the Central and Western Alps.— Bull. Geol. Soc. America, 1960, **71**, N 6.
Tschermak G. Lehrbuch der Mineralogie. 2. Aufl. Wien. 1878.
Turner F. J., Verhoogen J. Igneous and metamorphic petrology, 1951.
Tyrrell G. W. Volcanoes. London, 1931.
Umbgrove J. H. F. The pulse of the Earth. 1947.
Van Hise C. R. Principles of North American pre-Cambrian geology.— U. S. Geol. Surv. Sixteenth Annual Rept, pt I, 1896.

Van Hise C. R. Some principles controlling the deposition of ores.— Trans. AIME, 1901, 30.
Van Hise C. R. A treatise on metamorphism.— U. S. Geol. Surv. Mon. 1904, 47.
Van Tuyl F. M., Beckstrom R. C. The effect of pressure on the migration and accumulation of petroleum.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1926, **10**, N 10.
Vening-Meinesz F. A. V. Gravity and the hypothesis of convection currents in the Earth.— Proc. Koninkl. ,Nederl. Akad. wet., 1934, 37.
Verwiebe W. A. Oil fields in the United States. N. Y., McGraw Hill Book Co., Inc. 1930.
Vine F. J. Spreading of the ocean floor. New evidence.— Science, 1966, **154**, N 3755.
Vogelsang H. Uber die Systematik der Gesteinslehre und die Enteilung der gemengten Silikatgesteine.— Z. Dtsch. geol. Ges., 1872, XXIV.
Vogt I. H. L. Bildung Erzlagerstätten durch Differentiationsprocesse in basischen Eruptivemagmate.— Z. prakt. Geol., 1893, **1**.
Vogt I. What may we learn from Brögger's essexitic. Harum volcano concerning the magmatic differentiation. Norsk, 1931, XII.
Voigt W. Lehrbuch der Krystalphysik. Leipzig. 1910.
Volger G. H. Studien zur Entwicklungsgeschichte der Mineralien. Zurich, 1854.
Volger O. Die wissenschaftliche Lösung des Wassers — insbesondere der Quellenfrage mit Rücksicht auf die Versorgung der Städte.— Z. Vereins Dtsch. Ingenieure, 1877, **XXI**, H. 11.
Walker R. T. Mineralized volcanic explosion pipes.— Eng. and Mining J., 1928, **126**.
Wallerius J. G. Mineralogia, eller Mineralriket. Stockholm, 1747.
Walther I. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena, 1893—1894.
Washington H. The chemical composition of the earth.— Amer. J. Sci., 1925, 35.
Weeks I. L. World offshore petroleum resources.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, 1965, 49, N 10.
Weeks L. G. Concerning estimates of potential oil reserves.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists,, 1950, 34, N 10.
Wegener A. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig, 1915.
Weller J. M. Cyclical sedimentation of the Pennsylvanian period.— J. Geol. 1930, 38, N 2.
Weller J. M. The conception of cyclical sedimentation during the Pennsylvanian period.— Bull. Illinois State Geol. Surv., 1931, N 60.
Werner A. G. Von der ausserlichen Kennzeichen der Fossilien, abgefasst von Abraham Gottlob Werner. Leipzig, 1774.
Werner A. G. Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. Dresden, 1787.
Werner A. G. Neue Theorie von der Enstehung der Gänge mit Anwendung auf den Bergbau besonders den freibergischen. Freiberg, 1791.
Werner A. G. Handbuch der Mineralogie. Leipzig, 1803.
White D. Some relations between coal and petroleum. Washington Acad. Sci. J., 1915, 5.
White D. Progressive regional carbonization of coals.— Trans. Amer. Inst. Metallurg. and. Mech. Eng., 1925.
Williams Howel. Calderas and their origin. Univ. Calif. Publ. Bull. Dept. Geol. Sci., 1941, 25, N 6.
Wills L. G. A palaeogeographical Atlas of the British Isles and adjacent parts of Europe. London — Glasgow, 1951.
Willis B. The mechanics of Appalachian structure. 13th Annual Report U. S. Geol. Surv., 1893.
Wilson J. T. Static or mobile Earth: the current scientific revolution: In: «Gondwanaland revisited: new evidence for continental drift», 1969.
Winchell A. N. The new mineralogy.— Amer. Mineralogist, 1933, **18**, N 3.
Winchell A. N. Elements of mineralogy emphasizing the variations in minerals. N. Y., 1942.
Winchell A. N. What is a mineral? — Amer. Mineralogist, 1949, 34, N 3—4.
Winchell A. N., Winchell H. Elements of optical mineralogy. N. Y., 1951.
Winchell N. G., Winchell A. N. Elements of optical mineralogy. N. Y., 1909; 2n-d ed. Part II. N. Y., 1927.
Winckler G. Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. München, 1855.
Winckler H. Struktur und Eigenschaften der Kristalle. Berlin, 1950.
Winter H. Die mikroskopische Untersuchung der Kohle im auffalenden Licht.—Glükauf, 1913.
Wolff F. Das Temperaturgesetz in der Erdkruste. Jahrb. Halleschen Verbandes Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze, 1928, N. F., 7.
Zirkel F. Lehrbuch der Petrographie, Bd. I—III. Leipzig, 1893—1894.
Zittel K. Geschichte der Geologie und Paläontologie. München und Leipzig, 1899.
Zuber R. Fliszi nafta.— Prace naukowe, 1918, 2, Teil 2. Lwow.

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

Аалем Омар 16
Абелев Ю. М. 335
Абель О. 209
Абельсон Ф. 257, 258
Абих Г. В. 77, 79, 80, 83, 116, 117, 138
Абрамович М. В. 305, 319
Август II Сильный 53
Авиценна (Ибн-Сина) 15, 16, 26, 62, 121
Агассиц Л. 122
Агрикола 17, 18, 25, 40
Адаме Ф. Д. 5
Азанчеев Ю. Д. 54
Акимов А. П. 338
Алекин О. А. 253, 258
Алешков А. Н. 228, 233
Алибер И. П. 100
Алиханов Э. Н. 316
Алтдерман 229
Альтшуллер 173
Альфвен Х. 170
Амалицкий В. П. 125
Аммосов И. И. 297
Амиферер О. 173, 182, 185
Анаксимандр 13
Анаксимен 13
Ананян А. А. 338, 341
Андре К. 173
Андримон Р. 329
Андрусов Н. И. 105, 124, 125, 127, 175, 209, 210
Анри Э. 326
Араго Д. Ф. 57, 92, 135
Арене Л. Г. 257, 258, 260
Арган Э. 180, 183
Ардуино Д. 35, 42, 86
Аристотель 13—15, 167
Арльдт Т. 210
Аррениус С. 58, 221
Арсеньев А. И. 122
Архангельский А. Д. 179, 189, 190, 202—204, 209, 210, 306
Арцруни А. Е. 145, 152
Асклунд Б. 228, 231
Аспидон 100
Ауэрбах Ф. 148
Афанасьев Г. Д. 225, 226, 228, 230, 233

Бадлингтон А. Ф. 233, 268, 277
Бакакин В. В. 246
Бакиров А. А. 314, 315, 317
Банкс 42
Баранов И. Я. 338
Барбот де Марни Н. П. 330
Баркер Т. В. 44
Барлоу В. 152
Барранд И. 105—107
Баррел Дж. 172
Барруа Ш. 140
Барсанов Г. П. 246
Барсуков В. Л. 274
Барт Т. Ф. 228, 231, 257
Бартолин Э. 23
Бартон П. Б. 257
Батурин В. П. 204, 210
Баумгауер Г. 92
Бауэр 99
Бацанов С. С. 245
Бедан Ф. С. 87, 89
Безбородов М. А. 52
Безрук В. М. 335
Безруков П. Л. 206
Бейли Е. 230
Бейрих Г. Е. 106
Бейшлаг Ф. 268, 271
Бек В. В. 142
Бек Л. К. 90
Бекетов Н. Н. 263
Беккe Ф. И. 91, 92, 137, 139, 147, 153, 233, 242
Беккер Г. Ф. 223, 227
Беккерель А. С. 89, 262, 263
Бекленд В. 69, 71, 106
Бекстрем Х. М. 231
Белелюбский Н. А. 161
Белов Н. В. 244, 246, 257
Белоусов В. В. 173, 184—189, 194, 196, 197, 212, 348
Беляевский Н. А. 349
Белянкин Д. С. 228, 230—233, 236, 239
Беммелен Р. В. 173, 186, 187, 189,197, 198, 218, 220
Беньоф Г. 194
Берг Г. 272
Бергман Т. О. 32, 41, 46, 49, 87
Бержа 271
Бери Л. Г. 244
Бергман Г. 238, 243
Бернацкий, Л. Н. 333, 336
Бернгарди И. 88, 92, 122
Бернет Т. 23, 34, 73
Бернулли Д. 165
Берольдинген Ф. 50, 294
Бертран А. 122
Бертран Г. 253
Бертран К. 296
Бертран М. 118, 120, 179, 181, 194
Бертран Э. 147
Бертье П. 89
Берцелиус И. Я. 47, 87, 88, 247, 253
Бетгер И. Ф. 53
Бетехтин А. Г. 238, 245, 257, 268, 278—280, 283
Бетлинг В. 122
Беттей М. 229

Беус А. А. 258, 350
Бехер И. И. 99
Беггильд О. Б. 148
Биби-Томсон А. 314
Бикстон Е. П. 317
Билибин В. В. 319
Билибин Ю. А. 187, 226, 259, 272, 282
Билибина Т. А. 282
Билингслей П. 274
Бильджон 230
Био Ж. Б. 88, 92
Биркеланд 231
Бируни 16, 121
Бирштехер Э. 257
Бишоп А. 333
Бишоф К. Г. 79, 98, 99, 154, 155, 247
Бланк 252
Блохин А. А. 181
Блюм И. Р. 89
Блюмель В. И. 136
Блюмер Э. 311—313, 317
Богданов А. А. 190, 349
Богданов А. П. 123
Богданович К. И. 135, 167, 219—221, 268, 271, 313, 330, 345, 349
Боголюбский И. С. 158
Богомолов Г. В. 348
Бойд Ф. 234
Бойль Р. 246, 253
Бокий Г. Б. 244
Болдырев А. К. 44, 151, 236, 237
Болк Р. 223, 224
Болтвуд Б. 267
Больштедт А. 15
Борисов П. А. 54
Ботвинкина Л. Н. 302
Боуэн Н. Л. 139, 172, 226—228, 231, 233—235, 279, 280
Бошкович Р. И. 32, 247
Браве О. 92, 93
Брайен К. 337
Бранденберг ер Э. 243
Браунс Р. 153, 236—238
Бредихин Ф. А. 58
Брейслак С. 84, 78
Брейтгаупт И. Ф. 47, 89, 239, 247
Брёггер В. К. 138—140, 230, 231, 239, 249
Бриар 181
Бриндль И. А. 148, 239
Брод И. О. 196, 314, 315
Броньяр Ад. 121, 125
Броньяр Ал. 64, 71, 72, 79—83
Брукс К. 213
Бруновский Б. К. 240
Брунс Е. П. 302
Брюн 78
Брэгг У. Г. (В. Г.) 152, 153, 239
Брэгг У. Л. (В. Л.) 153, 239, 240, 242, 243
Брюстер Д. 88, 92
Бубнов С. Н. 232
Будников П. П. 290
Букановский В. М. 188
Бунзен Р. В. 79, 85, 138—140, 226—228, 231, 247, 283
Бунеев А. Н. 253
Бурже Л. 144
Буркер Е. С. 264
Бурштар М. С. 311
Буссенго Ж. Б. 247
Буссинеск 166
Бутов П. И. 295
Бух Л. 50, 60—62, 71, 73, 74, 78, 85, 86, 94, 96, 106, 111, 122, 132, 186, 218, 219, 221, 229
Бухер У. 173, 188
Бушинский Г. И. 207
Буэ А. 85, 94
Буюкос Г. 339
Буялов Н. И. 317, 320
Быханов Е. В. 182
Бэкон Ф. 19
Бэн Г. 231
Бюргер М. Д. 244
Бюффон Ж. Л. 26, 27, 29, 30, 32—34, 42, 43, 55, 62, 79, 121, 247

Вагер Л. Р. 257
Вада Т. 143
Вадия Д. Н. 349
Вазашерна И. А. 240, 241
Вайншенк Э. 144, 147
Валлериус И. Г. 40, 46
Вальдера А. 222
Вальтер И. 103, 128, 137, 201, 202
Вальц И. Э. 297
Валяшко М. Г. 206
Ван дер Кольк Д. 238
Ван-Орстанд В. К. 309
Ван-Тайл Ф. М. 311
Ван-Хайз Ч. Р. 167, 178, 233, 249,270, 271, 272
Вант-Гофф Я. Г. 51, 141, 144, 145, 254
Васко да Гама 16
Вассоевич Н. Б. 181, 186, 194, 206, 213, 308
Вашингтон Г. С. 139, 171, 173, 224, 228
Вебб Э. 66
Вебер В. В. 307
Вебстер Т. 69
Вегенер А. Л. 172, 182—184, 198, 199, 213
Вегман Ц. Е. 230, 233
Веденеева Н. Е. 211
Ведеполь К. Х. 258
Веербек 133
Вейс Х. С. 90—93
Вейсбах А. 142
Вейцзеккер К. Ф. 170
Венец И. 122
Вениг-Мейнес Ф. А. 182, 198
Вервибе В. А. 212, 314
Вернадский В. И. 8, 32, 91, 141, 144—147, 152, 153, 172, 206, 222, 236, 237, 241—244, 246—249,251—260, 264,266—268, 275 306, 328, 337, 338, 346, 347
Вернейль Ф. Э. 163
Вернер А. Г. 32, 33, 35, 38—42, 46, 50, 60, 69, 71, 79, 81—84, 94—96, 99
Вертушков Г. Н. 245
Весселье Г. 231
Вёлер Ф. 89
Визер Т. 226
Викман О. В. 257
Викулова М. Ф. 211
Виллис Б. 119, 173, 221
Виллис Р. 173
Вилсон Дж. Т. 198, 199
Вильс Л. Г. 215
Вильямс Х. 220
Винклер Г. 89
Винклер Х. 243
Виноградов А. П. 193, 194, 206, 211, 222, 229. 253, 256—260
Виноградов Д. И. 53
Винтер Х. 297
Винчелл А. Н. 238, 242, 243
Винчелл Г. 243
Винчелл Н. Г. 238, 243
Вирле д'Ау Т. 85
Вистелиус А. Б. 260
Витрувий 167
Вихерт Э. 170
Власов К. А. 250, 258
Влодавец В. И. 219, 220, 222
Воларович Г. П. 283
Воларович М. П. 197, 235, 290
Волков М. 293
Волластон У. Х. 90
Волосков А. А. 234
Волотовская Н. А. 230
Вольф В. 139
Вольф Дж. 232
Вольфсон Ф. И. 278, 280, 283, 284
Воробьева О. А. 230
Вреде Э. Ф. 122
Вуд Г. О. 222
Вудворд Д. 23,24, 31
Вудс К. Б. 342
Вульф Г. В. 152, 153, 239
Вырубов Г. Н. 147
Высоцкий Н. К. 159, 226, 273
Вюрц Н. К. 159, 226, 273
Вюрц А. 142
Вялов О. С. 175, 181
Вялов С. С. 341

Гагель Г. 219
Гадолин А. В. 90, 93, 94, 149
Гайдингер В. 87, 89, 142, 147
Гайдингер К. 41,82, 83, 85
Галилей Г. 16
Гамбурцев Г. А. 191

Гамильтон В. 78
Ган Ю. Г. 88
Гапеев А. А. 295
Гарвуд 231
Гарецкий Р. Г. 212
Гаркорт Э. 88
Гаррасовитц Г. 252
Гаррелс Р. М. 211, 252, 258
Гартмут И. 54
Гартунг Г. 78, 219
Гассоу У. К. 311
Гаюи Р. Ж. 43, 45, 46, 79—83, 88—90, 92, 93
Гевеши Г. 249, 252
Гедройц К. К. 331
Гейер Н. 231
Гейки А. 57, 218
Гей-Люссак Ж. Л. 74, 99
Гейм А. 113, 119, 344
Геккер Р. Ф. 175, 212
Гельмерсен Г. П. 83, 105, 159
Генкель И. Ф. 48
Георги И. И. 55
Гепперт Г. Р. 121
Герасимов А. П. 266
Герасимов И. П. 196
Герасимов Н. П. 178
Гербер М. И. 98, 311
Герлинг Э. К. 193, 260
Герман Р. Ф. 87, 145, 152
Германов А. И. 259
Герхард К. А. 98
Гершель Д. 88, 92
Герсеванов Н. М. 331—334
Гессель И. Ф. 92,93, 149
Геттард Ж. Э. 42
Геттон Д. 28, 32—34, 42, 50, 60, 62, 63, 73, 84, 85, 94, 96, 293
Гёдике Т. Р. 316
Гёфер Г. 167, 306, 309, 310, 312, 313, 328, 329
Гзовский М. В. 196, 197
Гиббс Д. У. 152
Гильберт В. 18, 185
Гиммельфарб Б. М. 207
Гинзбург А. И. 297
Гинзберг А. С. 234
Гинзбург И. И. 206, 252, 258
Гинзбург-Карагичева Т. Л. 306
Гиршвальд 161
Глазовская М. А. 260
Глинка К. Д. 142, 144, 201
Гловер Дж. 99
Гмелин И. Г. 52
Гмелин Л. 87
Гобер П. 153
Гобсон 308
Годри А. 345
Голицын Б. Б. 170
Голицын М. В. 300
Головачев Е. 330
Головкинский Н. А. 109, 124, 127, 168, 202
Голодковская Г. А. 335
Голубятников Д. В. 318, 319
Гольдшмидт В. 153, 160
Гольдшмидт В. М. 139, 171—173, 204, 206, 226, 229, 239—243, 245, 249—252, 255, 256
Гольдштейн М. Н. 335
Гопкинс В. 58, 133
Горбачев Р. 230
Горге А. 144
Гордеев Д. И. 5, 325, 328
Горецкий Ю. К. 207
Горин В. А. 312
Горини 134
Горский И. И. 302
Горшков Г. С. 217, 219, 222
Горьковая И. М. 336
Госснер Б. 239
Госселе Ж. О. 106, 181
Готан В. 297
Гофман Э. К. 83
Гофф К. А. 59, 62, 63, 122
Гохштеттер Ф. 133, 220
Гравелиус 326
Грамберг И. С. 211
Грегори Г. Е. 139
Грейтон А. Р. 268, 277—279
Грессли А. 103, 109, 123, 201
Григгс Д. 182, 185, 196
Григгс Р. Ф. 220
Григорьев Д. П. 245, 291
Григорьев И. Ф. 225, 238, 268, 279, 283
Гримм Р. 205, 242
Гримм Х. Г. 241
Грин 256
Грин В. 118, 139
Гринаф Г. Б. 68
Гроддек А. Ф. 153, 154
Гроссгейм В. А. 213
Грот П. Х. 145—148, 153, 236—239, 243
Гроут Ф. Ф. 23
Грубенман У. 233
Грум-Гржимайло В. Е. 235, 236
Грушвицкий П. В. 245
Грушевой В. Г. 282
Грэбо А. В. 173, 202, 203, 224
Гронер Л. 294
Губкин И. М. 307, 311, 312, 314, 317, 347
Гудспит Дж. 233
Гук Р. 20, 23, 62
Гуляева Л. А. 211
Гумбольдт А. 42, 50, 57, 61, 71, 73, 74, 75, 77—79, 94—96, 106, 115, 218, 229, 247, 305
Гуммель К. 5
Гуров А. В. 124
Гутенберг Ю. 170, 191
Гутчинсон Г.Е. 257
Гэстил Г. 191, 193
Гюйгенс Х. 23, 246
Гюмбель К. В. 295
Гюнтер З. 117

Даке Э. 210
Далханти Дж. 299
Дальтон Д. 86, 87
Данненберг А. 221
Дарвин Дж. 58
Дарвин Ч. 10, 58, 78, 102, 103, 107, 123, 138, 140, 230
Дарси Н. 165, 166
Двали М. Ф. 311
Деви У. 238
Девидсон 350
Деге 106, 107
Дегенс 258
Дейвис Г. 260
Дейша Г. 350
Декарт Р. 19, 22, 25, 26, 28, 34, 50, 62, 73, 133
Делесс А. Э. 89, 140
Де ла Беш Г. Т. 69, 70
Дели Р. А. 172, 173, 224—232
Делиус К. Т. 49, 94, 98
Делюк Л. 41, 153, 154, 156, 167, 268—273, 277, 282
Дельтер К. А. 143, 144, 238
Делюк Ж. А. 112
Демаре Н. 42, 60
Демидов А. 54, 55
Демокрит 13
Денисов Н. Я. 335, 336
Дервиз В. М. 284
Деттон К. Э. 119, 133
Джаггар Г. А. 220,222
Джанелидзе А. И. 5
Джедд Д. В. 132, 139
Джеффри Е. 297
Джильберт Г. К. 119, 179, 185, 190
Джинс Д. 170
Джоли Д. 173, 184, 185, 221, 227, 265
Джонс Д. У. 317
Диодорус С. 15
Дитмар К. 135
Дитц Р. С. 198, 199
Добе Ф. 223
Добре А. (Г.О.) 84—86, 98, 132, 140—142, 144, 155, 159, 228, 248, 283
Добюиссон де Вуазен Ж. Ф. 50, 67, 79, 94
Дозер 142
Докучаев В. В. 125, 248, 260, 323, 326
Долгов Ю. А. 245
Долицкий Р. А. 319
Долло Л. 103, 209
Доломье Г. С. 42, 50, 80, 81, 86
Д'Омалиус д'Аллуа Ж. 38, 72, 73, 105—107
Донненберг А. 303
Д'Орбиньи А. 61, 108
Дорошин П. 135
Достовалов Б. Н. 338, 342
Дранников А М. 335
Древер Х. 231
Дроздова Т. В. 258
Дубарь Г. П. 302
Дубов Р. И. 260
Дубянский А. А. 325
Дьенерт Ф. 326

Дьяконова-Савельева Е. Н. 231
Дэви Г. 59
Дэви 279
Дэна Д. 57, 78, 79, 87, 88, 120, 128, 132, 133, 140, 143, 147, 179, 313
Дюма Ж. 247
Дюмон А. 73, 106, 109
Дюпарк Л. 226
Дюпюи 166
Дюроше Ж. М. 79, 84—86, 138 — 140, 227, 231
Дю Тойт А. Л. 184

Жюфренуа П. А. 96
Екебе Т. 222
Елисеев Н. А. 223, 229
Емельянова Е. П. 335, 336
Ергольская З. В. 295, 297
Еремеев П. В. 91
Еременко Н. А. 307, 308, 315
Ермаков Н. П. 245, 279, 350
Ерофеев М. В. 91, 92
Ефремов И. А. 212

Жариков В. А. 235
Жданов М. А. 319, 320
Жемчужников Ю. А. 204, 297, 300—303
Жерве 106
Жестер Ж. 314
Жодейко Ф. 79
Жуков В. А. 324
Жуковский Н. Е. 166
Жуссьё А. Л. 121
Жюльен 132

Заварицкий А. Н. 194, 204, 218, 219, 228, 230, 232, 233, 245, 268, 284, 285
Залесский М. Д. 296, 297
Зандберг К. Г. 48, 220
Зандбергер Ф. 153—157, 283
Зандер Б. 197, 223, 224
Заппер К. 220
Захариасен В. Х. 239
Захаров Е. Е. 278
Захарченко А. И. 245
Зеебах 132
Зеебек А. 88, 92
Земятченский П. А. 141, 144, 153, 236, 237
Зенгер Ф. Дж. 340
Зенкович В. П. 206
Зенфт 80
Зимин С. С. 283
Золотарев Г. С. 335, 336
Зоммерланд Г. 144
Зондер Р. 194
Зонке Л. 148
Зубер Р. 313
Зхус И. Д. 211
Зюсс Э. 31, 114—116, 119, 120, 124, 134, 171—173, 179, 180, 207, 209, 222, 226, 253, 327, 328, 353

Ибн-Сина см. Авиценна
Иваницкий А. Б. 294
Иванов Б. В. 236
Иванов Г. А. 300, 302—304
Иванов И. З. 222
Иванов Н. А. 142
Иванов Н. В. 302
Иванов Н. Н. 331
Иддингс Д. П. 139, 142, 224
Иенгленд И. 234
Ильин 293
Ильин В. С. 323, 330
Имбо Е. 329
Индикоплов К. 15
Иностранцев А. А. 58, 109, 124, 125, 127, 128, 131, 135, 136, 142, 147, 153, 157, 159, 202
Ирвинг 213
Ито Т. 244
Ишина Т. А. 302

Йеттелеш Г. 117
Йодер Г. С. 229, 234, 235

Каденский А. А. 230
Казаков А. В. 251, 252, 288
Кайе Л. 202, 203
Кайи Л. 260
Калинин М. И. 347
Калинко М. К. 310, 312, 315, 316
Калицкий К. П. 307, 310
Кальдерон С. 143
Калюжный В. А. 245
Каменский Г. Н. 322, 328, 330, 332, 334
Кан Д. 260
Кандии Н. А. 101
Кант И. 26, 34, 55—57, 59—62, 73, 77, 101, 102, 115, 134, 169, 172, 221, 265
Капелюшников М. А. 310
Капустин Г. Г. 18, 293
Капустинский А. Ф. 172, 241, 251
Карножицкий А. Н. 91, 92, 345
Карпинский А. П. 103, 105, 106, 115, 121, 131, 136, 139, 140, 147, 153, 157, 159, 209, 224, 235, 340, 344, 346, 356
Карпов Г. В. 301
Карцев А. А. 308
Кашинский П. А. 254
Каэн Л. 260
Квенсель П. К. 230
Кегель У. 178
Кейль К. 333, 337
Кейльгак Г. 329
Келлер Б. М. 178
Келлер В. Д. 222
Келль Н. П. 219
Кельберг П. А. 117
Кеммерер А. Б. 142
Кемп Д. Ф. 239
Кеннеди Дж. С. 229, 257, 279
Кеплер И. 23, 45
Кернер-Марилаун Ф. 213

Кеферштейн Х. 36
Кёрван Р. 87
Каяшкевич М. 213
Кирхгоф Г. Р. 247
Кирхер А. 20, 28
Кларк Ф. У. 171, 247—249, 252
Клей Б. 292
Клейн К. 147, 153
Кленова М. В. 206
Клоос Г. 194, 223, 224
Клуссман В. 170
Кнебель В. 218
Книпшинг П. 239
Кобель В. Ф. 142, 147
Кобер Л. 179, 180, 182, 188
Кобилев А. Г. 302
Ковальский В. В. 257
Ковалевский В. О. 103, 123, 124, 127—129, 131, 209
Ковалевский Е. П. 293
Ковалевский С. А. 312
Ковнер С. С. 338
Ковригин И. 83
Кодарча А. 230
Кожевников М. 101
Козицкий М. М. 83
Козлов А. Л. 311
Кокан Г. 80, 137
Кокшаров Н. И. 90, 91, 142, 143
Колеман Х. С. 320
Коленко Б. З. 152
Колини 42
Коломбо О. 308
Колумб Х. 16
Конибир В. Д. 68—72, 106
Конрад Б. 170
Конради С. А. 219
Константинов М. М. 274
Коншин А. М. 318
Копелиович А. В. 205
Коперник Н. 16
Коперина В. 302
Коппен В. 213
Коптев-Дворников В. С. 225, 226
Кордус В. 292
Кордье П. Л. 79—83, 88
Корженевская Е. С. 297
Коржинский Д. С. 228, 229, 235, 245, 257, 280, 284
Корне 181
Корню Ф. 239
Королев А. В. 278, 280, 283
Корренс О. 257
Корте А. 341
Коссмат Ф. 173
Коссович П. С. 252
Коссовская А. Г. 205, 206, 211, 301
Кост Ю. 309, 310
Костов И. 246
Косыгин Ю. А. 315
Котта Б. 57, 80, 95, 98, 99, 139, 153, 154, 156, 227, 271
Котульский В. К. 283
Котяхов Ф. И. 320
Кранк 235

Крат Б. А. 158
Кратт 273
Краус Э. 180, 182, 198
Краускопф К. 257
Крашенинников Г. Ф. 303, 304
Крашенинников С. П. 24
Кребер 166
Крейтер В. М. 268, 280, 283
Крейчи-Граф К. 314
Кремер Г. 135
Кремс А. Я. 305, 315, 317
Кресси Г. 339
Кришстофович А. Н. 175
Крокстрём Т. 228
Кронштедт А. Ф. 40, 46, 47, 81
Кропоткин П. А. 125, 198
Кропоткин П. Н. 274, 283
Кросс У. 80,137, 224, 225
Крумбейн В. К. 211, 252, 258
Круш П. 268, 271
Крылов А. П. 319
Крылов И. Н. 178
Кротков И. Н. 178
Крэг К. 306, 311, 316
Куглер Г. 311
Кудрявцев В. А. 338, 340—342
Кудрявцев Н. А. 309
Кузнецов В. А. 278
Кузнецов Е. П. 181, 230
Кузнецов Ю. А. 194, 225, 226
Кукук Ф. 301
Кулибин К. А. 153
Култашев Н. В. 234
Кумпан С. В. 295
Куно Х. 220
Курбатов С. М. 237, 246
Куренной В. И. 47
Курнаков Н. С. 51, 234, 254
Курода 258
Кутина Я. 350
Куторга С. С. 76, 77, 85, 125
Кучин М. И. 325
Кьерульф Т. 138
Кэй Дж. М. 189
Кювье Ж. 32, 61, 62, 64, 71, 72, 108
Кюри М. см. Складовская-Кюри
Кюри П. 148, 152, 169, 262—265, 267, 291
Кюстер Ф. В. 148

Лаборд 265
Лавринг Т. 279
Лавров Н. И. 142
Лавуазье А. Л. 247, 253
Лагорио А. Е. 117, 139—141, 144, 227, 230
Ладыженский А. П. 162
Лазиус 98, 99
Лазо А. 57, 58, 115, 147
Лайель Ч. 62, 63, 78, 79, 82, 85, 94, 103, 106, 107, 122, 201, 294
Лайтакари А. 232
Лакруа А. 139—141, 143, 217, 231, 239
Лаксман Э. Г. 55
Ламарк Ж. Б. 62, 168
Ланге О. К. 323, 329, 330
Ландес К. К. 314
Лапин В. В. 236
Лаплас П. С. 56, 57, 59—61, 73, 77, 101, 102, 115, 134, 169, 172, 221, 265
Лаппаран А. 106, 127, 147, 209
Лапченко С. Г. 135
Лапшин В. 135
Ларсен Э. С. 238
Лаунау М. 41
Лауэ М. Ф. 153, 239
Лебедев А. П. 229, 230
Лебедев А. Ф. 327
Лебедев В. И. 245, 257
Лебедев Г. 133, 135
Лебедев П. И. 226, 234
Леблан Н. 99
Левенгук А. 23
Левенштейн М. Л. 300
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. 8, 58, 85, 137—140, 142, 147, 217, 218, 224—231, 233—236, 239, 245, 268, 330, 339, 347
Левицкий О. Д. 273, 278
Леворсен А. И. 192, 307, 312, 314
Лейбензон Л. С. 338
Лейбниц Г. В. 19, 20, 25, 62, 73
Лейман 99
Лейн А. 328
Ле Конт Д. 113, 157
Леман И. Г. 32, 35—38, 48, 293
Леман Инге 170
Леман О. 92
Лемберг И. И. 141, 142, 144, 147
Леммлейн Г. Г. 15, 245
Леонардо да Винчи 16, 17, 25, 73, 121
Леонгард Г. 90
Леонгардт К. Ц. 80—83
Леонов Г. П. 175, 176
Леонтьев Л. Н. 230
Лепехин И. И. 30
Летсом У. Г. 143
Лепателье А. Л. 141
Либби У. Э. 260
Либих Ю. 247
Ливерсидж А. 143
Лимановский М. 181
Линдгрен В. 160, 239, 249, 268, 271—273, 275, 277, 279
Линк Г. 172, 252
Линк Г. Ф. 294
Линней К. 32, 40, 44, 49, 80, 82, 88
Лисенко И. Р. 75
Лисицын А. П. 206
Лисицын К. И. 330
Литвинова Т. А. 342
Личков Б. Л. 328
Ловенштам Г. А. 214
Ловиц Т. Е. 46
Логвиненко Н. В. 206, 301
Лодочников В. Н. 171, 173, 226, 228, 239
Лойтман-Грин 135
Локк А. 274
Локке Н. Р. 316
Ломакс Дж. 297
Ломизе Г. М. 335
Ломоносов М. В. 23, 26—30, 32, 34, 41, 43, 44, 46—49, 53, 55, 61, 62, 73, 119, 121, 123, 165, 247, 253, 293, 305
Ломтадзе В. Д. 310
Лонгиамбон 142
Лоссен К. А. 80, 84, 137
Лоусон А. 178, 232
Лоуэс 100
Лудвиг 231
Лукашев К. И. 257
Лукашевич И. Д. 58, 179, 208, 209, 227, 233
Лукин Л. И. 280
Лукреций К. 14
Лукьянов В. С. 341
Лунева О. И. 214
Лутугин Л. И. 295—297
Лучицкий В. И. 178
Лучицкий И. В. 196
Львов А. В. 330
Лэйн А. 347
Любер А. А. 297
Люгер О. 166
Люжон М. 181, 232
Люстих Е. Н. 182

Магеллан Ф. 16
Магницкий В. А. 197
Магнус А. 241, 245
Мажер Г. 329
Мазарович А. Н. 189
Макаренко Ф. А. 259
Македонов А. В. 292, 302—304
Макеровский Д. Ф. 83
Маккей Д. Р. 341
Мак-Дермот Е. М. 309
Мак Кинли 230
Мак Конелл 181
Маккулох Д. 86
Маков К. И. 325
Максимов М. И. 319
Маллар 344
Маллет Р. 112, 116, 133, 135
Малляр Ф. Э. 147, 151
Мальте 78
Мальтус Т. 103
Малюга Д. П. 257
Малюс Э. Л. 88, 92
Манган 113
Манрос С. Н. 144
Манская С. М. 258
Мантель Г. 70
Маракушев А. А. 229
Марготе Ж. 144
Маржери Э. 346
Мариньяк Ж. Ш. 142, 145
Мариотт Э. 167
Марков К. К. 216

Маркс К. 19
Марку Ж. 128
Мартель Е. А. 324
Маслов Н. Н. 333
Масьлянкевич К. 350
Матвеев А. К. 303
Матсумото 220
Матхерс 234
Махачки Ф. 239, 243, 246
Мезон Б. 256
Мейнцер О. Э. 326, 329
Мейстер Л. А. 337
Мелейтнер К. 237
Мелик-Пашаев В. С. 316
Мелле В. 23
Мельников М. П. 162
Мельников П. И. 341
Мельникова К. П. 330
Мельчер 320
Менделеев Д. И. 59, 102, 103, 142, 145, 151, 169, 247, 248, 263, 305, 309, 310
Менжер Х. 339
Менцер Г. 239
Меншуткин Н. А. 248
Менье С. 59
Меняйлов А. А. 217—222
Мердок Д. 238
Меррей Д. 201
Мефферт Б. Ф. 295, 301
Мещеряков Ю. А. 196
Меллёр В. И. 106, 343
Миклашевский П. 161, 162
Милановский Е. В. 186
Миллер 150
Миллер Р. Л. 260
Милн Д. 117
Миронов С. И. 319
Мирс Г. 153
Мирчинк Г. Ф. 195
Мирчиик М. Ф. 312
Митчерлих Э. 89, 90, 145, 146
Михайловский Г. П. 218, 306
Михеев В. И. 244
Мишель-Леви А. (О.) 118, 137, 139—141, 144, 147, 232, 233
Мияки Я. 229, 256
Моисеенко В. Г. 283
Мойсисович Э. 124
Мокринский В. В. 302
Моос К. Ф. 88, 90, 93
Мор Ф. 133
Морлот 85
Моро А. Л. 24, 31, 121
Морозевич И. А. 141, 142, 144
Морозов С. С. 335
Москалева С. В. 229, 233
Мохоровичич А. 170, 219
Мразек Л. 141, 311
Муассан А. 144
Мультон Ф. 169, 185, 221
Муратов М. В. 195
Мургоч М. 181
Мурчисон Р. И. 105, 106, 122, 125, 128, 177
Мутман В. 242
Мушкетов И. В. 58, 61, 115—117, 153, 158, 167, 330
Мэд В. 231
Мэнн М. 310, 311
Мюгге О. 153
Мюнье Шалма 106
Набоко С. И. 222
Нагаока Г. 222
Наковник Н. И. 290
Наливкин В. А. 127
Наливкин Д. В. 190, 349
Нарай-Сабо И. 239
Наследов Б. Н. 268, 283
Науман К. Ф. 79, 80, 83—85, 90—92, 111, 201, 294
Наумова С. Н. 297
Нейман П. М. 217, 218, 220
Нейман Ф. 92
Нейман Ф. Э. 89
Неймайр М. 105, 125, 127, 131, 209
Некер де Соссюр Л. А. 94
Некрасов И. Я. 274
Нерренберг И. 92
Нерсесова З. А. 341
Неручев С. Г. 308
Нечаев А. В. 236, 237
Нигли П. 139, 172, 226, 232, 233, 239, 240, 243, 245, 249, 255, 277, 278, 280—282
Никитин В. В. 147
Никитин С. Н. 105, 106, 111, 124, 125, 127, 128, 165, 177, 326, 344, 345
Никифоров Н. М. 333
Никифоров П. М. 346, 347
Никогосян Х. 234
Николаев В. А. 257, 277
Николаев Н. И. 195, 196
Николь Д. 181
Николь У. (В.) 89, 92, 136, 162
Никольский А. П. 274
Никольсон У. 88
Никсон 229
Нир А. О. 260
Нобл Дж. 226, 229
Новацки В. 244
Ноддак В. 252
Ноддак И. 252
Ное-Нюгорд А. 349
Нойман Ф. Э. 147, 148
Нокколдс С. Р. 257
Норденшельд Н. Г. 90
Ньютон И. 19, 23
Обручев В. А. 125, 188, 195, 233, 268, 277, 338, 340, 341
Обуэн Ж. 195
Овчинников А. М. 253, 257, 259, 323
Овчинников Л. Н. 235, 279
Ог Э. 179—181, 209, 313
Озанн А. 139
Озерский А. Д. 105, 119, 153, 158
Ойя 235
Оксениус К. 287
Олдгем Р. Д. 170
Олт У. Ю. 260
Омори 222
Оппель А. 105—107, 124, 176
Орлов А. П. 116, 117, 135
Ормонт Б. Ф. 245
Орсель Ж. 238, 243
Островский И. А. 134, 235, 257
Отоцкий П. В. 323, 326
Отто Д. 229
Отфейль П. Г. 144
Охотин В. В. 331, 332, 334
Павлов А. П. 5, 105, 125, 127, 189, 202, 209, 210, 330, 331, 333, 345—347
Павлов Н. В. 283
Павлов М. 79
Павловский Е. В. 193
Павловский Н. Н. 322
Павлуцкий А. И. 158
Палицин И. 293
Паллас П. С. 30—34, 55, 73, 121
Панет Ф. 252
Панснер Л. И. 88
Парк Ч. 350
Паркинсон Д. 69
Пастер Л. 92
Паттейский К. 299, 300
Певе Т. Л. 341
Пейве А. В. 180, 183, 194, 195
Пек Р. 333
Пеннер Э. 342
Перельман А. И. 259, 260
Пермикин Г. М. 101
Перре Ф. А. 217, 220, 222
Перрей А. 57
Перрен Р. 232, 233
Перроден Д. П. 122
Петелин В. П. 206
Петр I 18, 55, 293
Петрашек В. 299
Петров В. П. 207
Петровская Н. В. 283
Петровский А. А. 338
Петтиджон Ф. 206, 213
Пёшль В. 148
Пийп Б. И. 222
Пинкертон Д. 80
Пинчук О. И. 304
Пирсон С. Д. 224
Пласе Ф. 182
Платнер К. Ф. 88
Плейфер Д. 50, 94
Плиний Младший 14
Плиний Старший 14, 15, 18, 246
Плуз И. Е. 16
Поваренных А. С. 237, 239, 242, 245, 246
Погребицкий Е. О. 299, 300, 304
Погребов Н. Ф. 331
Покельс Ф. К. 147
Полетика И. А. 153, 158
Полдерварт А. 194, 229

Полинг Л. К. 239, 240
Полканов А. А. 223, 230, 232, 233
Поло М. 54
Полынов Б. Б. 252, 258, 260
Пономарев Т. Н. 236
Попов А. И. 338, 341
Попов В. И. 189
Попов И. В. 334—336
Порфирьев В. Б. 309
Порхаев Г. В. 341
Поспелов Г. Л. 233, 235
Потонье Г. 295, 296
Пошепный Ф. 153—157
Поярков В. Э. 284
Прайс В. 50
Пратт У. Н. 314, 315
Прево К. 109, 113
Преображенский И. А. 320
Приклонский В. А. 331, 333—335
Принц Е. 329
Проиль 42
Пронин А. А. 191
Прохоров Н. И. 332
Пруст Ж. Л. 86, 89
Прюво П. 301, 302
Пуассон С. Д. 58, 161
Пулетт-Скроп Г. 78, 94, 133, 134, 138, 140, 230
Пустовалов Л. В. 204, 207, 211, 251
Пфаф Ф. 57, 148
Пчелинцев А. М. 341
Пэк А. В. 280
Пэлач Ч. 238, 243

Раби В. 194, 197
Радкевич Е. А. 278, 282, 283
Радугина Л. В. 238, 279
Разумовский Г. К. 122
Разумовский Н. К. 260
Раймонди А. 143
Райт Ф. Ю. 238
Ракич С. 350
Рамберг Г. 196, 229, 245
Рамдор П. 238, 242, 279
Рамзей В. 171, 173, 309
Раммельсберг К. Ф. 142, 143, 146
Ранкама К. 256, 260
Ранкорн С. К. 213
Расп Р. Э. 42
Ратеев М. А. 211
Резерфорд Э. 169, 248, 262, 263, 264, 267
Рейд Д. 20
Рейер Э. 138, 139, 227, 228
Рейль И. Х. 247
Рейс В. 78
Рейс Я. 219
Рейш Г. 233
Рекк Г. 218, 220
Ренар А. 201
Ренгартен В. П. 181, 346
Реневье Э. 106, 124
Рено Б. 296
Рентген В. К. 169, 239, 262, 263
Реомюр Р. 42
Ретгерс Я. В. 145
Рёйсс Ф. А. 38
Ржаницын Б. А. 335
Рид Г. Г. 228, 231
Рингвуд А. Е. 197
Ринне Ф. 153
Ритгерс И. 148
Ритенберг М. И. 302
Ритман А. 224, 225, 232
Рихерт И. Г. 166, 329
Рихман Г. В. 24, 26
Рихтгофен Ф. П. 79, 125
Рихтер И. В. 86
Рихтер Р. 178
Ричардсон 67
Робертс Дж. 299
Робинсон С. 90
Роддер Э. 350
Роджерс А. Ф. 238
Роджерс Г. Д. 294
Родионов Д. А. 260
Родионова К. Ф. 308
Розе Г. 83, 87, 88, 90, 95
Розебом Г. В. 145
Розенбуш Г. 83, 84, 136—140, 147, 225
Розиваль А. 148
Розовский Л. Б. 335
Рой Б. Ч. 350
Романовский Г. Д. 76, 116
Роме де Лиль Ж. Б. 23, 44, 89
Ронов А. Б. 206, 212, 216, 260
Росс 279
Росси Г. 147
Рот И. Л. 79, 80, 139
Рубинштейн М. М. 191, 338
Рубо М. 232, 233, 350
Рулье К. Ф. 63, 121, 123, 128
Русаков М. П. 268, 290
Руттен Л. 218
Рухин Л. Б. 207, 213, 216
Рэтли А. 116
Рюто А. 109, 127, 128
Рябинин Ю. И. 197

Саваренский Ф. П. 326, 329, 331—335
Савченко В. П. 311
Савченков Ф. Н. 142
Садецки-Кардош Е. 224, 225
Салливан К. 268, 274, 275
Самойлов Я. В. 203, 251, 288, 346
Сандерсон Р. 245
Сандланд Г. 239
Сарбеева Л. И. 297, 300
Сатпаев К. И. 282
Сауков А. А. 250, 256, 258, 260, 284
Сафронов Н. И. 254
Сахама Г. 256
Сведенборг Э. 49
Свитальский Н. И. 268, 283, 284
Севастьянов А. Ф. 33, 82
Севергин В. М. 41, 42, 47, 48, 55, 60, 80, 82, 87—90, 101, 122, 247
Северцев Н. А. 61
Седергольм Я. И. 141, 178, 227, 228, 231—233
Седжвик А. 105, 106, 177
Седлецкий И. Д. 242
Селезнев В. И. 52
Семененко Н. П. 193
Семенов А. И. 282
Семенов Е. И. 258
Семихатов А. Н. 324
Сенармон А. 144
Сенделл Э. Б. 258
Сенека 14, 15
Сент-Клер Девиль А. Э. 144
Сент-Клер Девиль Ш. 132, 135
Сергеев А. С. 330
Сергеев Е. А. 254
Сергеев Е. М. 335, 336
Сидоренко А. В. 206, 214
Сидоров 101
Силин-Бекчурин А. И. 322
Симпсон Е. 229
Синицын В. М. 195
Синцов И. Ф. 124
Скавен-Хауг С. 340
Скакки А. 92
Складовская-Кюри М. 169, 262, 263
Скок В. И. 300
Скотт Р. Ф. 340
Слихтер 166
Слосс Л. Л. 215
Смирнов В. И. 276, 282, 284, 350
Смирнов С. С. 268, 272, 278, 280—283
Смит В. 64—69, 71
Смит Р. 239, 307
Смит Ф. Г. 245
Смит Х. 74
Смуликовский К. 229
Снядецкий Е. 247
Снятков А. А. 295
Соболев В. С. 229, 230, 243, 244
Соболевский В. П. 83
Содди Ф. 263
Соколов В. А. 254, 318
Соколов В. Д. 309, 310
Соколов Г. А. 283
Соколов Д. И. 57, 61, 63, 73, 75, 76, 80, 82, 86—89, 94—97, 123, 154, 159, 201
Соколовский Л. А. 95
Солайдер 42
Соловов А. П. 254
Соловьев Ю. И. 47
Соловьев Я. К. 338
Сорби Г. К. 136, 147, 201
Сорга С. 54
Соренсен Г. 230
Сорэ 231
Соссюр Г. Б. 42
Спалланцани Л. 42, 79

Спенсер Г. 153
Спёрр Д. Э. 159, 268, 271—274, 282
Спиро Н. С. 211
Стадников Г. Л. 211
Старик И. Е. 260
Стеноя Н. 20—23, 25, 26, 34, 44, 45, 73, 121
Степанов Д. Л. 175, 176
Степанов П. И. 295, 301—303
Стерри Хант Т. 133, 155
Стивенсон Дж. 294
Стопс М. 297
Страбон 14
Страхов Н. М. 202, 204, 206, 207, 210, 211, 213, 216, 258, 260
Стретт Р. 184, 265
Стрижов И. Н. 318, 319
Стрэчи Д. 22
Субботин С. И. 197
Судовиков Н. Г. 233
Сулави Ж. 41, 42
Сулин В. А. 253
Сумгин М. И. 337, 338
Сундиус И. 231

Тамман Г. Г. 171, 226
Танакадате Г. 220
Тарасенко В. Е. 139
Татищев В. Н. 121
Таттон А. Э. Х. 242
Таунсенд 67
Таусон Л. В. 258
Твалчрелидзе Г. А. 282, 284
Твенхофел У. Х. 203, 212
Тейлор У. 239
Тейлор Ф. 172, 182—185, 198
Тейлор Х. 226, 229
Тейс Р. В. 214
Тейхмюллер М. 300
Тейхмюллер Р. 300
Теодорович Г. И. 206, 211, 252
Теофраст 14, 246
Термье П. 181, 232
Тернер Ф. Дж. 226, 229
Терцаги К. 330, 331, 333, 334
Теряев А. М. 46
Тетяев М. М. 186—189, 299
Тёрнебом М. А. 181
Тилл Г. 231
Тиллас Д. 41
Тилли С. Э. 229, 233, 234
Тилтон Г. Р. 260
Тим А. 166
Тимофеев П. П. 302
Тиндалль Д. 142
Тиррель Д. В. 139, 221, 226
Тиссен Р. 297
Тит Лукреций Кар см. Лукреций К.
Тихомиров В. В. 5, 8, 350
Тод Г. Д. 308
Токарев А. Н. 222, 328
Толстихин Н. И. 323, 324, 328
Толстопятов М. А. 91
Томас Г. 230
Томкеев С. И. 228, 231
Томсон В. 58, 148
Томсон Дж. 262
Тородсен Ф. 218
Торопов Н. А. 236
Торрель О. М. 125
Травин А. Б. 297
Трайбс А. 306
Траск П. Д. 306
Траутшольд Г. А. 125, 127—129
Требра Ф. В. 98
Трёгер В. 225
Троттер Ф. 299
Трофимук А. А. 313
Трюмпи Р. 195
Тугаринов А. М. 193, 260
Тугутт С. И. 142, 144, 147
Тумашев Дм. 55
Тумель В. Ф. 338
Туровский С. Д. 258
Тутковский П. А. 125
Тыжнов А. В. 303
Тютчев И. А. 142
Тютюнов И. А. 341

Уайков Р. 239
Уайстон В. 23
Уайт Д. 313, 350
Удден 301
Удинцев Г. Б. 192
Уикс Л. Г. 314—316
Уилд 271
Уилс Л. 215
Уильям 78
Улиг В. 181
Умбгрове Дж. 218
Уокер 220
Уоррен Б. Э. 239
Уошбэрн К. 309
Усов М. А. 175, 188, 229, 234, 268, 277, 278
Усов П. С. 83, 140
Успенская Н. Ю. 314
Успенский Н. М. 233
Уссинг Н. В. 230
Уэллер Д. М. 203, 301, 302
Уэст Дж. 239

Фабер 100
Файоль Х. 294
Файф У. С. 245
Фалес 13
Фальб 135
Фарнхем 279
Фарнэм К. М. 238
Федоров Е. С. 44, 92, 136, 139, 140, 147—153, 224, 236, 237, 239
Федоров С. Ф. 317
Федоровский Н. М. 237
Федорчук В. П. 284
Федотов С.А. 219
Фемистер Т. 231
Феннер К. Н. 217, 220, 228, 230—232, 279
Феофилова А. П. 302
Фермор Л. Л. 227, 229
Ферсман А. Е. 54, 153, 172 226, 237, 239—241, 246—252, 254, 257, 259, 268, 277, 283, 285, 288, 290, 347
Ферхуген Ж. 226, 257
Филатов М. М. 331, 332, 334
Филлипс В. 68—72, 106, 108, 153
Филлипс Д. А. 156
Фиттерер 236
Фиттон В. Г. 70
Фишер О. 78, 133
Флейшер А. 220
Флоровская В. Н. 318
Фогельзанг 136
Фогт И. Г. 140, 144, 153, 159, 224—225, 227, 230, 239, 245 249, 268, 271, 273
Фожа де Сен фон 42
Фойгт В. 148
Фойгт К. В. 42
Фольгер Г. Х. 89
Фольгер О. 133, 167
Форстер 135
Форхгеймер 166
Франкенгейм М. Л. 89, 93
Франц Д. 148
Франц Р. 88
Фраш 161, 288
Фредерикс Г. Н. 181
Фрейслебен И. 37, 38
Френель О. Ж. 88, 92
Фрех Ф. 127
Фридель Ш. 144, 151
Фридляндер И. 221
Фридрих В. 239
Фритиш 132
Фролова Н. В. 233
Фроидел К. 243
Фуке Ф. А. 78, 132, 137, 141, 144, 220
Фукс И. Н. 89
Фукс 144
Фурнс В. 84, 94
Фурье Ж. 57
Фюксель Г. Х. 36—38

Хаарман Э. 173, 185—187
Хабаков А. В. 213
Хабберт М. 197
Хазен А. 166
Хаин В. Е. 5, 186, 212, 216, 315
Ханин А. А. 320
Харкер А. 140, 231
Хейзен Б. 192, 199
Херасков Н. П. 194
Херти 236
Хесс Г. 198, 199
Хёльдер Г. 5
Хёрнс Р. 116
Хиллер И. Э. 243
Хильгенберг О. 188, 199
Хильт К. 295

Хинце К. 143, 238
Хисингер В. 90
Хитаров Н. И. 235, 257, 279
Хладни Э. Ф. 59
Хоббс У. 194
Хойкас Р. 350
Холл Д. 42, 86, 120
Холмс А. 173, 182, 185, 193, 199, 221, 227, 228, 231, 232, 260, 274
Хорева Б. Я. 194
Храмов А. Н. 213
Хрущев К. Д. 139, 141, 231
Хрущев Н. А. 284
Хьюз 229
Хьюлин 272, 274

Цёппритц К. 58
Циммерман К. 48, 49, 98
Циркель Ф. 83, 136, 137, 147, 202
Цис Е. Г. 217, 222
Циттель К. 5, 57, 64
Цмель И. А. 235, 236
Цобелл Ц. Е. 257
Цытович Н. А. 333, 341, 342

Чапский 150
Чарноцкий С. И. 319, 320
Чаудгар Р. 350
Чейв Кейт Е. 211
Чемберлин Р. Т. *169*, *185*, *221*
Черепанов М. Е. 100
Черепанов С. И. 100
Чермак Г. 152, 153, 142, 145, 146, 152, 153, 236, 237
Чернышев Ф. Н. 295
Черский И. Д. 115
Чирвинский П. Н. 144, 172, 329
Чирнгхауз Э. В. 53
Чухров Ф. В. 239

Шабаров Н. В. 303
Шадлун Т. Н. 279
Шардт Г. 181
Шарпантье И. Ф. 37, 98, 122
Шарпе Д. 86, 142
Шаталов Е. Т. 282
Шатский Н. С. *184*, *189*, *190*, 192—195, 303, 349
Шафарцик Ф. 116
Шафрановский И. И. 237, 239, 244, 245
Шахов Ф. Н. 233
Шварц К. 243, 279
Шварцбах М. 213
Швейг М. 230
Швецов М. С. 203—205
Швецов П. Ф. 337—341
Шееле К. 46
Шези А. 166
Шейманн Ю. М. 193
Шейхцер Я. 24
Шеллер 78, 279
Шенд С. Д. 230
Шенк Э. 341
Шенфлис А. М. 148, 150, 237, 239
Шепел М. Д. 243
Шерер 235
Шерер Т. 84, 85, 145
Шехтман П. А. 280
Шёнбейн Х. Ф. 247
Шибольд Э. 240, 243
Шимпер Ф. 106
Шипулин Ф. К. 274
Ширакаци А. 16
Шлосс 215
Шмидер К. 59
Шмидт В. 223
Шмидт Д. 274
Шмидт О.Ю. 170, 256
Шнейдерхен Г. 238, 249, 268, 276, 278, 279, 281, 282
Шорт М. Н. 238, 279
Шоу Д. 258
Шпренгель К. 247
Шталь 98
Штауб Р. 180, 183
Штах Е. 297
Штебер Э. О. 309, 311
Штейнберг Г. С. 219, 222
Штельцнер А. В. 153, 156, 268 271
Штеффенс Г. 59
Штилле Г. 179, 186—190, 193 194, 281
Штини И. 332
Штрокайзен А. 230
Штрунц Х. 242, 243, 246
Штудер Б. 75, 86, 112
Штукенберг А. А. 106, 125, 131
Штутцер О. 297
Штюбель А. 58, 78, 79, 134, 135, 219—221
Шубников А. В. 244
Шультен А. Б. 144
Шульц С. С. 190, 195, 196
Шумский П. И. 341
Шур А. С. 235
Шустер М. 147
Шутов В. Д. 205, 210, 301
Шухерт Ч. 209, 265
Шушерина Е. П. 341
Шырокшин Н. В. 83
Шэлер 133

Щеглов Н. 79
Щеголев Д. И. 328
Щербаков Д. И. 250, 348
Щербаков Ю. Г. 283
Щербина В. В. 257, 258
Щуровский Г. Е. 83

Эбельмен Ж. Ж. 89
Эбрей 113
Эдьед Л. 199
Эйлер Л. 165
Эйлерт 231
Эйхвальд Э. И. 76, 82, 105, 125
Эккерман Г. 230
Экснер 148
Эли де Бомон Л. 61, 62, 75, 84, 85, 95—98, 111—113, 118, 138, 139, 154, 179, 232, 247, 248, 265, 271, 327
Эмери К. О. 316
Эммонс В. Г. 153, 160, 239, 268, 271—273
Эммонс С. Ф. 155, 283
Эмпедокл 135
Энгельгард М. Ф. 82
Энгельман И. П. 128
Энгельс Ф. 10, 19, 61—63, 188
Энглер 306
Эпинус Ф. У. 45
Эпштейн С. 214, 260
Эрдли А. 226
Эри Д. 92
Эрман А. 218, 221
Эскола П. 227, 229, 231—233, 239, 245
Эсмарк И. 122
Этлинг 141
Эшер Б. Г. 217, 220

Юинг М. 192
Юинг Т. 88, 161
Юри Г. 170, 256, 257, 260
Юшко С. А. 279

Яблоков В. С. 302
Яворский В. И. 295
Языков П. М. 105
Яковлев Н. Н. 209, 346
Якубов А. А. 312
Яна А. 341
Янович В. *230*
Яновский В. К. 338
Янт У. П. 317
Яншин А. Л. 190, 192, 212
Яржемский Я. Л. 206
Ярковский И. О. 188

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 5

Введение (*И. В. Батюшкова, В. В. Тихомиров*) 7

1. Первоначальное накопление геологических знаний и ранние представления о строении Земли (с древности до середины XVIII в.) (*И. В. Батюшкова, Г. Д. Курочкин, Г. П. Леонов, И. И. Шафрановский*) 12

2. Возникновение и становление научной геологии (с середины XVIII в. до начала XIX в.). 26

Идеи о развитии Земли (*И. В. Батюшкова*) 26

Возникновение стратиграфии (*Г. П. Леонов*) 35

Зарождение учения о горных породах (*А. А. Меняйлов*) 40

Развитие кристаллографии (*И. И. Шафрановский*) 43

Развитие минералогии (*Г. Д. Курочкин*) 46

Возникновение учения о рудных месторождениях (*Г. Д. Курочкин*) 48

Накопление знаний о нерудных полезных ископаемых (*В. П. Петров*) 51

3. Первые исследования геологических процессов. Возникновение основных отраслей геологии (XIX в.) 56

Представления о происхождении и строении Земли (*И. В. Батюшкова*) 56

А. Развитие отдельных отраслей геологии (первая половина XIX в.) 59

Борьба идей в теоретической геологии (*И. В. Батюшкова*) . . . 59

Стратиграфия (*Г. П. Леонов*) 64

Геотектоника (*И. В. Батюшкова*) 73

Исследование вулканов (*А. А. Меняйлов*) 78

Петрография (*А. А. Меняйлов*) 79

Минералогия (*А. С. Поваренных*) 86

Кристаллография (*И. И. Шафрановский*) 90

Учение о рудных месторождениях (*Е. А. Радкевич*) 94

Накопление знаний о нерудных полезных ископаемых (*В. П. Петров*) 99

Б. Дальнейшая дифференциация геологии. Начало применения точных методов в геологии (вторая половина XIX в.) 102

Возникновение новых отраслей геологии в связи с развитием промышленности (*И. В. Батюшкова*) 102

Стратиграфия (*Г. П. Леонов*) 105
Геотектоника (*И. В. Батюшкова*) 111
Становление палеогеографии (*Ю. Я. Соловьев*) 121
Вулканология (*А. А. Меняйлов*) 132
Петрография (*А. А. Меняйлов*) 136
Минералогия (*А. С. Поваренных*) 142
Кристаллография (*И. И. Шафрановский*) 148
Учение о рудных месторождениях (*Е. А. Радкевич*) 153
Учение о нерудных полезных ископаемых (*В. П. Петров*) . . . 160
Гидрогеология (*Д. И. Гордеев*) 164

4. Развитие точных методов в геологии (XX в.) 169
Представления об оболочечном строении Земли (*И. В. Батюшкова*) 169
Стратиграфия (*Г. П. Леонов*) 174
Геотектоника (*В. Е. Хаин*) 179
Наука об осадочных породах (*Г. Ф. Крашенинников*) 201
Палеогеография (*Ю. Я. Соловьев*) 207
Вулканология (*А. А. Меняйлов*) 217
Петрография (*А. А. Меняйлов*) 223
Минералогия (*А. С. Поваренных*) 236
Геохимия (*А. И. Перельман*) 246
Радиогеология (*Д. И. Гордеев*) 262
Учение о рудных месторождениях (*Е. А. Радкевич*) 268
Учение о нерудных полезных ископаемых (*В. П. Петров*) . . . 285
Геология угля (*Г. И. Иванов*) 292
Геология нефти и газа (*М. К. Калинко*) 305
Гидрогеология (*Д. И. Гордеев*) 321
Инженерная геология (*К. П. Мельникова*) 329
Мерзлотоведение (*К. П. Мельникова*) 337
Международный геологический конгресс (*Д. И. Гордеев, К. П. Мельникова*) 343
Современное состояние геологии (*В. Е. Хаин*) 351

Литература 355

Указатель имен 378

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИИ

Утверждено к печати Институтом истории естествознания и техники Академии наук СССР

Редактор **Ю. Я. Соловьев**. Редактор издательства **Н. М. Митяшова**
Художественный редактор **В. Н. Тикунов**. Технический редактор **Р. М. Денисова**

Сдано в набор 22/VIII 1972 г. Подп. к печати 1/XII 1972 г. Формат 70×100¹/₁₆. Бумага № 1. Усл. печ. л. 33,75. Уч.-изд. л. 34,6. Т-04299. Тираж 3500 экз. Тип. зак. № 1090. Цена 2 р. 81 к.

Издательство «Наука», 103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
24	22 св.	воды	из воды
58	17 св.	земного	оси земного
162	20 сн.	не	на
173	26 сн.	разное	резкое
353	9 св.	теологии	геологии

«История геологии»

2р. 81 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»