

524

НАУЧНОЕ
НАСЛЕДИЕ
М. А. УСОВА
И ЕГО РАЗВИТИЕ

ОЧЕРКИ
ПО ИСТОРИИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ЗНАНИЙ

23

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
КОМИССИЯ ПО ИСТОРИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ
И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ СССР

**НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ
М. А. УСОВА
И ЕГО РАЗВИТИЕ**

*(Очерки по истории
геологических знаний, вып. 23)*

Ответственный редактор
чл-кор. АН СССР *В. В. Тихомиров*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск · 1984

Научное наследие М. А. Усова и его развитие. (Очерки по истории геологических знаний, вып. 23).— Новосибирск: Наука, 1984.

В сборнике освещены многогранная научная деятельность академика М. А. Усова и его большой вклад в развитие наук о Земле, в том числе магматической геологии, тектоники, геологии рудных месторождений, учения об осадочных породах и геоморфологии. Показано большое влияние его идей на развитие геологии Сибири и за ее пределами. Включена одна из ранних работ М. А. Усова, в которой он высказывает ряд оригинальных идей, получивших развитие в современном учении по физикохимии магматизма.

Книга представляет интерес для широкого круга геологов, интересующихся историей геологических знаний и их современным состоянием.

Рецензенты *С. М. Николаев, В. И. Бгатов*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

акад. *В. А. Кузнецов* (гл. ред.), проф. *А. Г. Бакиров*, д-р геол.-мин. наук *А. Ф. Белоусов*, канд. геол.-мин. наук *В. В. Вдовин*, *А. А. Запорожченко* (секр.), д-р геол.-мин. наук *Ю. П. Казанский* (зам. гл. ред.), канд. геол.-мин. наук *В. П. Ковалев*, д-р геол.-мин. наук *В. Н. Шарпов*



M. Goff

ПРЕДИСЛОВИЕ

20(8) февраля 1983 г. исполнилось 100 лет со дня рождения академика Михаила Антоновича Усова, известного исследователя Сибири, определившего многие направления как практической, так и теоретической геологии этого района в первой половине XX в. Его учитель, академик В. А. Обручев, говорил об «усовском периоде» в развитии геологии Сибири.

Блестящий лектор, прекрасный воспитатель молодежи, М. А. Усов явился одним из создателей геолого-разведочного факультета Томского технологического (ныне политехнического) института. Его ученики и воспитанники стали костяком кадров геологической службы в 20-х и 30-х годах нашего столетия в Сибири.

Велико влияние М. А. Усова на развитие различных отраслей геологической науки. Им были заложены основы многих направлений в учении о магматических породах и формациях, геоморфологии, выветривании, тектоники и т. д. В статьях предлагаемого сборника авторы, ученики М. А. Усова и ученики его учеников, постарались показать все то передовое, долгоживущее, что сохранилось в научном наследии М. А. Усова.

Инициатором этого сборника был академик Ю. А. Кузнецов, который собирался написать большую статью, но болезнь и кончина помешали этому. Поскольку Юрий Алексеевич был учеником М. А. Усова и хорошо знал его, редколлегия сочла возможным перепечатать ранее опубликованную статью Ю. А. Кузнецова, так как она (ввиду небольшого тиража издания) осталась неизвестной геологической общественности.

Наиболее существенный вклад был сделан М. А. Усовым в магматическую геологию. Располагая сравнительно небольшим объемом фактических данных, он сумел увидеть перспективность изучения физикохимии магма-

тического процесса. В этом он на много лет опередил своих современников. В сборнике перепечатывается статья М. А. Усова «Законы физикохимии в применении к геологии», содержание которой является подтверждением вышесказанного. Впервые эта статья увидела свет в 1913 г.

Развитие идей М. А. Усова как по физикохимии магматического процесса, так и по петрологии, фациям и формациям пород этого типа рассмотрено в статьях Ю. А. Кузнецова, Г. В. Пинуса, А. Ф. Белоусова и Г. В. Полякова, М. П. Кортусова и С. С. Ильенка, Ю. А. Кузнецова и В. Н. Шарашова, а также К. В. Радугина.

Большое внимание М. А. Усов уделял рудным месторождениям. Им был опубликован учебник для геологических факультетов вузов. В сборнике развитию взглядов М. А. Усова на рудную геологию посвящены статьи В. А. Кузнецова, В. К. Черепнина и В. И. Баженова, Н. А. Рослякова и Ю. Г. Щербакова.

В последние годы своей жизни М. А. Усов разрабатывал гипотезу о саморазвитии Земли, рассматривая непрерывно-прерывистый процесс становления геосфер как явление, связанное с атомно-молекулярными реакциями. Для верхних геосфер им была предложена климатическая классификация процессов выветривания и формирования рельефа, учитывающая не только саморазрушение исходного вещества, но и перемещение выветрелых продуктов. Это представление оказало огромное влияние на развитие геоморфологии и учения о седиментационных процессах.

Сборник представляет интерес не только как материал по истории становления геологической науки, но и как пример, показывающий развитие идей одного из самых талантливых зачинателей геологических работ в Сибири,

Ю. А. КУЗНЕЦОВ

**АКАДЕМИК М. А. УСОВ —
ОСНОВОПОЛОЖНИК СОВЕТСКОЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ В СИБИРИ ¹**

О жизни и деятельности академика Михаила Антоновича Усова написано много. Изданы научные сборники, посвященные его памяти, неоднократно публиковались библиографии его трудов. Наиболее полное представление о жизни, научной, педагогической, организационной и общественной деятельности М. А. Усова дает посвященный ему выпуск «Материалов к библиографии ученых СССР», в котором вступительная статья написана учеником М. А. Усова профессором И. В. Лебедевым, а полная библиография трудов М. А. Усова и литературы о его трудах и жизни составлена О. В. Исаковой [Михаил Антонович Усов, 1967]. Поэтому во избежание повторений я оставляю в стороне изложение существа его научных работ и ограничусь собственными воспоминаниями о М. А. Усове как человеке, педагоге, воспитателе и организаторе. Дело в том, что все главные научные труды М. А. Усова опубликованы и даже неоднократно переиздавались, а вот людей, знавших хорошо его лично, его непосредственных учеников, осталось в живых очень немного.

О М. А. Усове написано как будто много и хорошо. Что же вынуждает меня снова писать о нем? Как это ни парадоксально, но бурное развитие науки нередко приводит к тому, что мы, увлекаясь разработкой тех или иных направлений науки, иногда начисто забываем об их основоположниках. Геология, как и другие науки, за последние десятилетия переживает необыкновенный расцвет. Трудями многотысячной армии геологов накоплено колоссальное количество такой новой информации, о которой еще 3—4 десятилетия назад мы не имели никакого представ-

¹ Статья перепечатана из сборника «Академия наук и Сибирь». Новосибирск: Наука, 1977, с. 19—39.

ления. Бурный поток новых наблюдений, естественно, рождает новые идеи и гипотезы. Вместе с тем также быстро стареют те геологические гипотезы, которые еще недавно казались нам передовыми и наиболее близкими к истине. Старое быстро забывается. Все это совершенно естественный процесс, вероятно свойственный любой области человеческих знаний. Но, к сожалению, мы часто забываем и то, что все новое в науке строится на фундаменте старого и новые более обоснованные научные гипотезы создаются в основном методом выявления недостатков старых. Академик М. А. Усов скончался в 1939 г., а о нем уже начали забывать, и ссылки на его работы в последнее время сравнительно редко можно встретить на страницах геологической литературы. Объяснить это можно, с одной стороны, тем, что некоторые идеи М. А. Усова действительно к настоящему времени устарели, с другой — свойствами человеческого ума и тем бурным потоком информации, который буквально топит в своих пучинах даже очень крупные научные достижения наших предшественников, а вместе с тем и их имена. Но вот, например, основы таких важных разделов современной геологии, как учение о геологических формациях или учение о фациях магматических пород, действительно были заложены М. А. Усовым, хотя



М. А. Усов (1933 г.)

далеко не все геологи, занимающиеся фациальным и формационным анализом, достаточно осведомлены об истории возникновения своей науки.

Крупный ученый и вместе с тем блестящий организатор М. А. Усов решил в своей деятельности, как мне кажется, две главные задачи: 1) организация геологической службы в Сибири в трудные послереволюционные годы и 2) подготовка высококвалифицированных кадров геологов-съемщиков, поисковиков, разведчиков, а также

ученых и преподавателей. Без решения второй задачи невозможным было бы решение первой, основной, поскольку все попытки привлечь на постоянную работу в Сибирь квалифицированных геологов, по крайней мере до начала Великой Отечественной войны, кончались неудачей.

В 1919 г., когда еще продолжалась гражданская война, М. А. Усов, совсем молодой профессор, организует в Томске Сибирское отделение Геологического комитета — в то время единственную государственную организацию, занимавшуюся геологическими исследованиями. В качестве директора он возглавлял это отделение вплоть до преобразования его в Западно-Сибирское геолого-разведочное управление, консультантом которого М. А. Усов оставался до своей кончины. Помимо основной работы в Технологическом институте и Сибирском отделении Геологического комитета М. А. Усов принимал деятельное участие в работе ряда проектных организаций (Шахтстрой, Тельбесбюро) и промышленных предприятий (Сибуголь, Кузбассуголь). В 1938 г. он был назначен директором Всесоюзного научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ) и оставался на этом посту до избрания его академиком АН СССР в 1939 г.

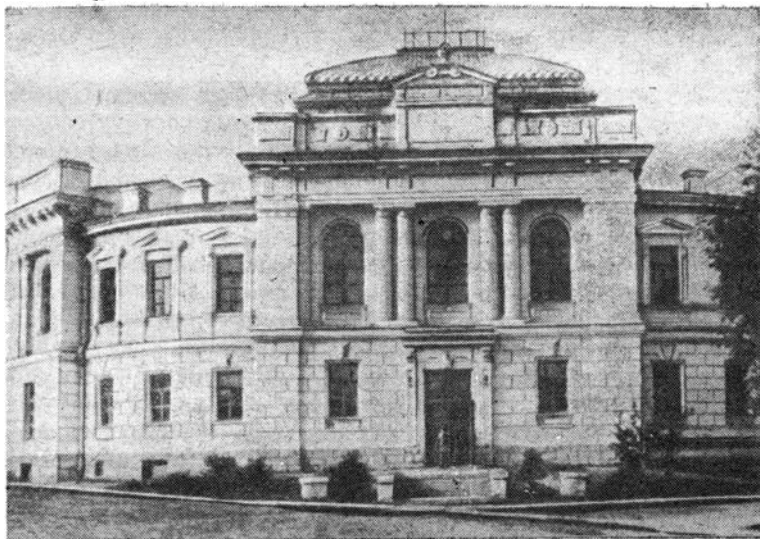
В период первых пятилеток и создания тяжелой промышленности на востоке СССР в Сибири возникли многочисленные геолого-разведочные и проектные организации, задачей которых было создание здесь угольно-металлургической базы. Роль М. А. Усова в организации геолого-разведочной службы и создания угольно-металлургической базы в Сибири в годы первых пятилеток огромна. Но все-таки главным делом его жизни была педагогическая, воспитательная и организационная работа в родном для него Томском технологическом (потом индустриальном, а сейчас политехническом) институте. Нисколько не преувеличивая, можно сказать, что основные геологические кафедры этого института как полноценные учебно-научные подразделения были созданы М. А. Усовым. Показательна в этом отношении история прохождения службы самого Михаила Антоновича в Томском технологическом институте.

В 1901 г. М. А. Усов поступил на горное отделение только что открытого Томского технологического института. В 1908 г. по окончании института был оставлен профессорским стипендиатом (аспирантом) при кафедре общей геологии, которой руководил в то время профессор (впоследствии академик) В. А. Обручев. Еще студентом

он принимал участие в экспедициях В. А. Обручева в Пограничную Джунгарию, а в аспирантуре занимался петрографической обработкой собранных материалов. Итогами этой работы были два капитальных труда: «Описание горных пород Пограничной Джунгарии» и «Федоровский, или универсально-оптический, метод исследования породобразующих минералов, в особенности полевых шпатов» [Усов, 1911]. Последняя работа явилась первым систематическим изложением и учебным пособием по широко известному теперь методу оптического исследования породобразующих минералов. М. А. Усов не только использовал его при исследовании горных пород Джунгарии, но и счел необходимым составить учебное пособие, поскольку создатель метода — Е. С. Федоров — изложил в нескольких статьях только теоретические основы и принцип метода, малодоступные рядовому читателю и особенно студентам. Следует обратить внимание на то, что ко времени выхода в свет этих крупных монографий М. А. Усову было только 28 лет.

В 1912 г. М. А. Усов получил назначение преподавателя кафедры палеонтологии и исторической геологии Томского технологического института, а через год, после защиты магистерской диссертации, избирается профессором и заведующим этой кафедрой. За время работы здесь (до 1921 г.) Михаил Антонович читал основной курс исторической геологии, написал и издал два учебника: по исторической геологии и геологии каустобиолитов, а главное — подготовил из числа своих учеников достойную смену — профессоров М. К. Коровина и В. А. Хахлова, ныне уже покойных.

В 1921 г. М. А. Усов перешел на кафедру общей геологии, петрологии и прикладной геологии того же института, где до 1930 г. читал все основные курсы этой кафедры и тоже подготовил двух профессоров — Н. Н. Горностаева и Ф. Н. Шахова, которые после разделения кафедры возглавили две вновь созданные — петрографии и геологии месторождений полезных ископаемых. В 1928 г. М. А. Усов издал учебник, в основу которого легли его лекции по курсу рудных месторождений (в 1931 г. было выпущено второе издание, в 1933 г. — третье). К сожалению, интересный и совершенно оригинальный курс петрологии, который мне довелось слушать у М. А. Усова в 1922—24 уч. году, остался в виде рукописного текста. Изданы были только две большие статьи — «Фазы эффузивов» и «Фации и фазы интрузивов», в которых М. А. Усов



Здание геолого-разведочного факультета Томского технологического (ныне политехнического) института.

изложил свою классификацию магматических горных пород, и некоторые новые разделы из курса петрологии [Усов, 1924, 1925].

С 1930 по 1938 г. М. А. Усов возглавлял кафедру общей геологии Томского технологического института. Основным курсом, который читал в это время М. А. Усов и которому уделял особое внимание, был вводный курс общей геологии для студентов 1-го курса. Казалось бы, курс, в котором давались только самые элементарные сведения по геологии, мог прочитать любой ассистент. Однако Михаил Антонович всегда читал его сам, полагая очень важным делом заинтересовать и увлечь геологией молодых людей, часто с еще неопределенными интересами. Понятно, что М. А. Усов читал и специальные курсы, причем некоторые из них — впервые в СССР. И на этой кафедре М. А. Усов переработал свои лекции и издал в качестве учебников. В 1934 г. выходят из печати «Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений», в 1940 г. — «Структурная геология» [Усов, 1934, 1940]. Работу над учебником по общей геологии Михаил Антонович не успел закончить, и первые главы этого большого труда под названием «Введение в геологию» были опубликованы лишь

в 1950 г. в г. Алма-Ате [Усов, 1950]. Покидая Томск в 1938 г., он передал кафедре своему ученику профессору К. В. Радугину.

Из этого краткого очерка истории деятельности М. А. Усова в Томском технологическом институте можно видеть, насколько велика была его роль и в постановке преподавания геологических дисциплин, и в подготовке высококвалифицированных кадров инженеров-геологов, которые были столь нужны для планомерных геологических исследований громадных пространств Сибири, бывшей в те годы для геологии почти сплошным белым пятном. Пожалуй, еще более значительной была роль М. А. Усова в воспитании и заботливом выращивании ряда ученых самой высокой квалификации, в разное время занимавших и занимающих сейчас самые высокие посты в научно-исследовательских институтах, высших учебных заведениях и производственных геологических организациях. Перечислить их всех невозможно. Среди прямых учеников и продолжателей его дела следует назвать профессоров А. В. Аксарина, И. К. Баженова, А. Я. Булыникова, Н. Н. Горностаева, И. В. Дербикова, В. П. Казаринова, М. К. Коровина, А. М. Кузьмина, М. И. Кучина, И. В. Лебедева, В. А. Николаева, К. В. Радугина, Г. Л. Поспелова, академика К. И. Сатпаева, Б. Ф. Сперанского, П. А. Удодова, Л. Л. Халфина, В. А. Хахлова, члена-корреспондента АН СССР Ф. Н. Шахова, руководящих работников геолого-разведочных организаций Министерства геологии К. С. Филатова, М. М. Рунина, М. И. Казанцева и многих других.

Мои личные воспоминания о М. А. Усове и впечатления о встречах с ним относятся к 1923—1938 гг. В 1923/24 г. я, как уже писал, слушал лекции М. А. Усова по петрологии, а с 1925 по 1928 г. числился у него в аспирантуре, хотя и работал в университете на кафедре, возглавляемой молодым профессором Н. Н. Горностаевым. Кроме того, с 1927 по 1930 г. я был штатным геологом Сибирского отделения Геологического комитета, возглавляемого М. А. Усовым. Более поздние встречи — это частые консультации у М. А. Усова по тем или иным проблемам геологической науки да встречи на разных деловых заседаниях и научных совещаниях.

Несколько слов о личных, чисто человеческих качествах М. А. Усова. Прежде всего, обращали на себя внимание его исключительная организованность и высокая требовательность к себе. Мне кажется, что вся его жизнь

была посвящена работе, и отдыха он себе не позволял. Я не знаю за ним каких-либо других увлечений, кроме науки. Впрочем, мне говорили, что он любил музыку и сам неплохо играл на скрипке. Превосходное знание иностранных языков делало его эрудитом во всех областях геологии, позволяло ему консультировать и давать рекомендации по любым разделам геологии, петрологии, учения о рудных месторождениях и т. д. И этими консультациями у М. А. Усова широко пользовались все.

Каждый день у Михаила Антоновича был расписан по часам. В определенное время он работал дома, в определенное время его можно было видеть на прогулке, в определенное время он консультировал студентов, научных работников института и геологов производства. Консультировал он ежедневно, но нередко к нему были очереди на прием, хотя консультации тоже проходили организованно и поэтому быстро. Если обсуждаемая проблема была достаточно острой, начиналась дискуссия. Надо сказать, что, хотя для всех нас, его учеников, Михаил Антонович был авторитетом и почти полубогом, с ним можно было спорить, его можно было даже переубедить, конечно, если аргументы выдвигались достаточно основательные. М. А. Усов на консультациях никогда не допускал ни общих рассуждений, ни каких-либо отклонений от темы консультации. Вопросы должны были быть четко сформулированными и конкретными. После этого или следовало так же четко сформулированное мнение Михаила Антоновича, или давался совет прочитать те или иные работы. И в этом случае он часто сам подбирал или карточки в своей картотеке, или книги и журналы в своей библиотеке и вручал их нуждающемуся в точно назначенный срок...

М. А. Усов был не только большим и широко эрудированным ученым, но и выдающимся лектором. В своих несколько суховатых лекциях он не допускал ни отступлений от темы, ни лишних слов, ни шуток, которые нередко скрашивают скучную лекцию. Речь его была чеканна и выразительна, рисунки на доске четкие, ни одного лишнего штриха. Записывались его лекции легко, но только в том случае, если ни на секунду не ослабевало внимание. Вместе с тем Михаил Антонович обладал удивительным свойством — чувством времени, свойством, которого я больше не встречал ни у кого. Не говоря уже о том, что он появлялся на кафедре во время звонка и начинал свою лекцию сразу после звонка, он всегда и кончал свою лек-

цию вместе со звонком, причем не на полуслове, а обязательно завершив тот крупный раздел, которому была посвящена лекция. И я не могу припомнить ни одного случая, когда он задержал бы студентов хотя бы на минуту после звонка на перерыв. И вообще Усов всегда очень дорожил и своим, и чужим временем. Зайти в кабинет к М. А. Усову для того, чтобы просто поговорить по волнующему тебя вопросу, казалось нам абсолютно невозможным.

Припоминаю такой случай: студентом последнего курса я должен был сдать Михаилу Антоновичу два экзамена по первой и второй петрологии. И оба раза, написав вопросы, он садился рядом со мною за отдельный столик и какое-то время продолжал свою работу, а я писал свои ответы. Потом, когда я был готов, он молча просматривал мои записи, что-то немного правил, просил зачетку и ставил пятерку. То есть оба раза на этих очень важных для меня экзаменах (а я уже в то время думал специализироваться именно в области петрологии) я не произнес ни слова, а Михаил Антонович не задал ни одного дополнительного вопроса. Вероятно, мне надо было радоваться полученным пятеркам. Но я оба раза ушел обиженным. Мне так хотелось блеснуть своими знаниями перед глубокоуважаемым, любимым профессором!

В мою задачу не входит оценка научных достижений М. А. Усова. Это уже делалось многими и с разных позиций. Отмечу только стиль, технологию написания им статей, учебников и монографий. Все без исключения его публикации отличались, как и лекции, краткостью, точностью определений, чеканностью изложения. Все свои работы он писал сразу начисто и только карандашом, а в случае необходимости исправления написанного пользовался резинкой. Все его рукописи, а я их видел и читал много, написаны четким своеобразным почерком, без единой пометки, читаются они так же легко, как машинописные, и разночтения совершенно невозможны. Такая манера письма, к которой он приучал и своих учеников, опять-таки выработалась у него из соображения необходимости экономии времени. Надо иметь в виду, что в те времена не только стенография, но даже пишущая машинка были почти недоступной роскошью. Я застал еще время, когда типографии принимали в набор работы, написанные от руки. Поэтому каждая работа, если и печаталась на машинке, то только один раз, а чистая и четко написанная рукопись не только облегчала труд машинистки

и повышала ее производительность, но и сэкономила время автора на корректуру.

Я уже говорил, что М. А. Усов всегда точно рассчитывал свое рабочее время и дорожил им. Но он не жалел времени на работу с молодыми авторами, на редактирование их произведений, требуя ясности, простоты, краткости изложения. Для иллюстрации его манеры воспитания молодых ученых приведу две хорошо запомнившиеся встречи с М. А. Усовым.

Вскоре после зачисления меня в аспирантуру Михаил Антонович предложил написать краткий отчет о ходе подготовки. В назначенное время я принес ему отчет на нескольких страницах, написанный от руки. Михаил Антонович прочитал его, исправил красным карандашом, к стыду моему, довольно многочисленные ошибки и посоветовал как следует проштудировать русскую грамматику Грота, а о проделанной же работе — ни слова. Красный, как рак, я выскочил из кабинета профессора, ворвался в комнату геологов Геологического комитета и с возмущением стал жаловаться на оскорбительное ко мне отношение со стороны руководителя, чем вызвал дружный смех у всех присутствующих. Меня быстро успокоили, сказав, что каждый из моих старших товарищей испытал то же самое при аналогичной ситуации. Но урок был жестокий. Правда, грамматику Грота я так и не проштудировал, так как ошибки в моей рукописи были допущены не по неграмотности, а по небрежности. Но с тех пор я не выпускал из своих рук ни одного, даже самого пустякового произведения, не выверив тщательнейшим образом и стиль, и орфографию, и пунктуацию.

Другой случай произошел через полгода, когда я принес ему для направления в печать рукопись моей первой научной работы «Скарны Ольховско-Чибихевских кон тактов» на 120 страницах. Михаил Антонович внимательно прочел ее, в общем одобрил содержание, не высказал никаких претензий в части стиля, орфографии и пунктуации, но посоветовал сократить ее раза в три. Понятно, я был расстроен, мне казалось, что работа хорошая, и что в ней нет ничего лишнего. Но делать нечего. Сократить в три раза методом вычеркивания нельзя, пришлось писать ее заново. Через месяц или два приношу работу в новой редакции, уже на 60 страницах. Усов вторично ее внимательно читает (не внося никаких исправлений) и снова возвращает мне со словами: «Теперь уже значительно лучше, но сократите-ка ее еще вдвое». И вновь мне пришлось пере-

писывать работу, безжалостно выбрасывая лишние слова, детали, описания и т. д. И только эту, третью, редакцию моей работы Михаил Антонович одобрил и подписал в печать. Согласитесь, метод обучения начинающих ученых, применявшийся М. А. Усовым ко всем своим ученикам, достаточно трудоемкий — не у всякого руководителя хватит времени и терпения выправлять ошибки в рукописи своего ученика да еще трижды внимательно прочитывать разные варианты одной и той же работы. Метод этот в достаточной степени жесток, но, безусловно, запоминающийся. Я, например, запомнил эти уроки своего учителя на всю жизнь и бесконечно благодарен ему за них.

Вспоминая свои первые шаги в науке, мне думается, что именно контакту с таким замечательным ученым, воспитателем и человеком, как М. А. Усов, я в значительной степени обязан тем, что мне удалось прочно войти в геологическую науку и кое-что сделать для нее. А ведь учеников у М. А. Усова было немало. Он создал в Сибири целую школу ученых-геологов, которые вели геологические исследования, поиски и разведки полезных ископаемых, составили основной костяк всех геологических кафедр Томских высших учебных заведений. Уже после смерти М. А. Усова академик В. А. Обручев писал, что 20-летний период в изучении геологии Сибири (с 1919 по 1939 г.) с полным правом может быть назван «усовским». И это, действительно, так. До начала Великой Отечественной войны геология Сибири создавалась в основном учениками М. А. Усова. И только во время войны и особенно в послевоенные годы, в связи с бурным развертыванием геологических исследований на востоке СССР, армия сибирских геологов неизмеримо выросла за счет воспитанников учебных заведений европейской части СССР. Произошла неизбежная и даже необходимая ассимиляция разных школ, взаимно обогащавших друг друга.

ЛИТЕРАТУРА

Михаил Антонович Усов. М., 1967. 62 с.

Усов М. А. Пограничная Джунгария. Отчет о путешествиях, совершенных в 1905, 1906 гг. В. А. Обручевым с сотрудниками. Т. 2, вып. 1. Описание горных пород Пограничной Джунгарии. Магистерская дис. Томск, 1911.

Усов М. А. Федоровский, или универсально-оптический, метод исследования породообразующих минералов, в особенности полевых шпатов. — Изв. Томск. технол. ин-та, 1911, т. 21, № 1, с. 1—643; т. 22, № 2, с. 65—142.

- Усов М. А. Фазы эффузивов.— Изв. Томск. технол. ин-та, 1924, т. 46, вып. 1, с. 8—38.
- Усов М. А. Фации и фазы интрузивов.— Изв. Сиб. отд. Геол. комитета, 1925, т. 4, вып. 3, с. 1—37.
- Усов М. А. Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений. Томск, 1934.
- Усов М. А. Структурная геология. М.—Л., 1940.
- Усов М. А. Введение в геологию. Алма-Ата, 1950.

М. А. УСОВ

ЗАКОНЫ ФИЗИКОХИМИИ В ПРИМЕНЕНИИ К ПЕТРОГРАФИИ ¹

Не будет большой смелостью утверждение, что всякий геолог прежде всего должен быть петрографом. Действительно, в какой бы области не специализировался геолог — занимается ли он стратиграфией, тектоникой, полезными ископаемыми или даже палеонтологией или физической географией, всюду он имеет дело с каменным материалом, слагающим верхнюю часть земной коры, всегда он будет встречаться с горными породами или их составными частями. И он должен быть не только знаком с этими породами: умело определять их и отличать друг от друга, но и знать историю их образования, их генетическую связь и характер тех изменений, которым они подвергались в течение своей, иногда очень продолжительной жизни. Только тогда можно делать правильные выводы, когда знаком со всеми особенностями материала, на который опираешься при своих исследованиях.

Между тем геолог в своей работе находится при очень невыгодных условиях: обыкновенно он имеет дело с разрозненными выходами горных пород, получает материал, большей частью сильно испорченный выветриванием и другими факторами, не характерными для того геологического тела, которое слагается из этого материала. Самое же главное заключается в том, что геолог наблюдает лишь конечные явления природы, так сказать, проведенную реакцию, но не знает отдельных фазисов последней. Лишь в очень редких случаях, например, при вулканических

¹ Перепечатано с брошюры: М. А. Усов. Законы физикохимии в применении к петрографии. Томск: Сиб. т-во печати. дела, 1913, 35 с.

извержениях и то в несовершенной степени, можно видеть последовательные стадии явлений и изменения различных геологических комплексов.

Поэтому неудивительно, что геология до самого последнего времени опирается при своих выводах и объяснениях наблюдаемых явлений на целый ряд гипотез. По мере развития наших знаний и ознакомления с тем громадным материалом, с которым приходится иметь дело геологии, эти гипотезы подвергаются проверке: большей частью они изменяются, некоторые из них совершенно выбрасываются и предлагаются новые. Конечно, нельзя сказать, что гипотезы не имеют значения в развитии наук; напротив, благодаря им и двигается вперед научная работа, но если таких гипотез много, если возникают они при встрече чуть ли не каждого сложного факта, то часто является неуверенность в правильности выводов и объяснении различных явлений; может даже явиться сомнение в значении геологии как точной науки.

Все сказанное в значительной степени приложимо к петрографии как отдельной отрасли геологии. Вспомним, в чем заключается сущность петрографических исследований, произведенных до последнего времени. Обыкновенно берется более или менее удачно собранная коллекция горных пород и подвергается так называемой обработке. Последняя заключается главным образом в микроскопическом определении компонентов горных пород, их структуры и т. п. и иногда в производстве химического количественного анализа некоторых типичных образований, что, вообще говоря, дает возможность только распределить данные породы по известным, искусственно построенным схемам.

В самом деле, почти все микроскопические определения являются чисто механическими и не отличаются особенной точностью. Это обстоятельство обуславливается не столько несовершенством методов исследования, сколько нашим незнанием со всеми свойствами породообразующих минералов, отделить которые и подвергнуть особому изучению в громадном большинстве случаев невозможно.

Отсюда ясно, что для объяснения различных изменений горных пород, их взаимоотношений и т. п. приходится прибегать к целому ряду предположений.

Производство химических анализов тоже обыкновенно является делом чисто формальным, так как мы не знаем ни состава реагентов, давших анализируемое нами со-

единение, ни характера самой реакции. Чтобы найти какую-нибудь зависимость между химическими и минералогическими составами горных пород и открыть законы, управляющие образованием последних, результаты химических анализов облакаются в некоторые формулы, очевидно, искусственного характера. Само собой разумеется, что все выводы, основанные на такого рода построениях, являются чисто гипотетическими и не могут внушать особого доверия.

Что касается теоретических работ по петрографии, то они представляют собой обыкновенно чисто спекулятивное рассмотрение результатов вышеуказанных исследований и, значит, все время базируются на различного рода предположениях.

Еще до сих пор петрография как официальная наука продолжает сохранять описательный характер. Благодаря этому накопилось громадное количество сырого материала, наука оказалась загроможденной массой терминов, фактов, большей частью не связанных между собой; в случае попыток придать некоторую стройность этому материалу, получить общие выводы и т. п. приходится принимать целый ряд гипотез. Правда, с течением времени количество последних уменьшается, но оно все еще очень значительно и едва ли при одном морфологическом направлении работы в области петрографии может быть сведено к одной или очень немногим гипотезам, что является необходимым для признания за данною отраслью знаний значения уже выработанной самостоятельной науки, которую нужно бы назвать п е т р о л о г и е й.

Можно сказать, что до самого последнего времени петрография находилась в каком-то тупике, и многие не находили даже возможным считать ее за науку. Достаточно, например, указать, что в российских университетах большей частью нет отдельных курсов петрографии; если в специальных учебных заведениях она и пользуется известным уважением, то лишь благодаря ее непосредственной связи с учением о полезных ископаемых. Между тем петрография, как было показано выше, должна быть положена в основу всех геологических наук, и нужно сказать, что в настоящее время она начинает постепенно занимать подающее ей положение. Происходит это главным образом потому, что она познакомилась с физико-химическими методами, которые вдохнули в нее душу живую, сблизили ее с целым рядом других отраслей знания и начинают придавать единство и стройность ее основным выводам.

Такой выход из создавшегося положения нужно считать вполне естественным. Действительно, если существует такое положение, что все науки в конце концов сольются между собой, то геология, и в частности петрография, относится к таким отделам естествознания, которые не могут обходиться без помощи других наук. До сих пор петрография пользовалась преимущественно методами физическими (например, микроскопические исследования) и химическими (химический анализ). Но эти методы отличаются, так сказать, статическим характером, между тем как петрография имеет дело с объектами, которые при своем образовании и в дальнейшей жизни находятся под влиянием различных физических и химических сил, стремясь войти с ними в известное равновесие. Учение о гетерогенном равновесии входит в область физикохимии, и, значит, без физико-химических методов петрография не может совершенно развиваться.

В дальнейшем будет показано, на каких общих основаниях прилагаются основные законы физикохимии к петрографическим проблемам, в какой форме эти законы подвергаются известной проверке и в какой стадии в настоящее время находятся петрографические исследования, проводимые под влиянием новых идей.

I

Основным отделом петрографии является учение об изверженных горных породах, которые слагают существенно земную кору, дают материал для всякого рода других пород и по самому происхождению своему являются вполне закономерными образованиями. Поэтому при дальнейшем изложении приложимости законов физикохимии к петрографии имеются в виду только изверженные горные породы, хотя нужно сказать, что наиболее разработан с этой точки зрения вопрос о происхождении залежей различных солей — особенно благодаря трудам Вант-Гоффа.

В настоящее время учение об изверженных, или, как еще их называют, массивных горных, породах нуждается в принятии лишь двух основных гипотез. Первая гипотеза гласит, что массивные горные породы образовались из огненно-жидких масс, и может считаться имеющей характер вполне доказанного и наблюдениями и экспериментом положения. Согласно второй гипотезе, довольно тесно связанной с первой и тоже принимаемой многими

за доказанное положение, огненно-жидкая масса, или магма (также лава), представляет взаимный раствор или сплав компонентов горных пород и некоторых летучих веществ и потому подчиняется законам физикохимии, которая получила свое развитие именно при изучении условий равновесия в растворах.

Ввиду особенной важности учения о растворах в приложении к петрографии необходимо остановиться на выяснении понятия, что такое раствор. Обыкновенно под растворами понимают жидкие системы, причем различают растворитель и растворенное вещество. В действительности растворы могут находиться в любом агрегативном состоянии, и само различие между растворителем и растворенным веществом является принципиально неправильным. Физическая химия знает только взаимные растворы. Если мы имеем раствор А и В, то с тем же правом мы можем говорить о растворе В и А. Например, если приготовить ряд растворов из вина и воды, смешивающихся во всех пропорциях, начиная с чистого вина и кончая чистой водой, то совершенно невозможно будет установить, что нужно считать растворителем и что растворяющимся веществом. При растворах твердого вещества в жидком, например соли в воде, особенно склонны бывают считать первое растворенным в последнем, но в этом нет никакой принципиальной необходимости: с одинаковым правом мы можем смотреть на данный раствор, как на раствор жидкости и расплавленной соли или как на смешанный сплав льда и соли. Вообще, раствором физическая химия называет находящуюся в положении равновесия систему из нескольких компонентов, которые являются в одном и том же агрегативном состоянии или, как говорят, в одной и той же фазе и которые в известных границах смешиваются между собой в любых отношениях.

Согласно этому определению нужно различать газообразные, жидкие и твердые растворы.

Компоненты газообразных растворов смешиваются, как известно, во всех отношениях, причем обыкновенно эти системы называют не растворами, а смесями, что, вообще, является неправильным. Законы, управляющие равновесием в такого рода растворах, пока почти не прилагаются при решении петрографических проблем, так как самостоятельно такие растворы встречаются чрезвычайно редко и все газообразные вещества, наблюдаемые, например, при вулканических извержениях, являются растворенными в магме или лаве и, следовательно, находятся в том же агрегативном состоянии, что и последняя.

Гораздо важнее для нас жидкие растворы. Необходимо прежде всего заметить, что нет никакого собственно различия между растворами в обыденном смысле этого слова и сплавами: те и другие характеризуются одинаковым своим агрегативным состоянием и отличаются лишь по высоте температуры плавления (или таяния) своих компонентов. Обыкновенно название «сплавы» относят к металлам, поэтому магму определяют как огненно-жидкий раствор.

По смесимости компонентов жидкие растворы обнаруживают большое разнообразие. Так, вода и вино смешиваются во всех отношениях, вода же и эфир обладают при обычных физических условиях очень ограниченной взаимной растворимостью. Последняя зависит, с одной стороны, от температуры, причем с повышением последней в громадном большинстве случаев увеличивается; при достаточно высокой температуре вещества, подчиняющиеся этому правилу, растворимы во всех пропорциях. В отношении к магме нужно сказать, что компоненты ее, выражающиеся главным образом силикатами, как показывают опыт и аналогия, отличаются, по-видимому, полной растворимостью в расплавленном состоянии. Исключение составляют лишь некоторые примеси — особенно сульфиды, но и те при перегревании силикатных сплавов начинают растворяться сильнее (само собою разумеется, что при охлаждении они выделяются в первую очередь). Интересно отметить, что сульфиды особенно часто встречаются в основных изверженных породах; не служит ли это обстоятельство указанием на то, что магма данных пород перед образованием последних имела вообще высокую температуру?

С другой стороны, растворимость веществ зависит от их химических особенностей, причем вещества, имеющие аналогичное строение, обладают обыкновенно и значительной взаимной растворимостью. Так, силикаты растворимы между собою более или менее совершенно, но растворимость окислов и сульфидов в силикатах уже очень невелика, почему они и образуют в горных породах, обыкновенно, примеси. Еще менее должны растворяться в силикатах металлы, что, действительно, и показывает нам повседневная металлургическая практика. На основании этого можно с большей долей вероятности предполагать, что земная кора, сложенная преимущественно из силикатных горных пород, представляет как бы ошлакованную часть земного шара, который, по-видимому, состоит в главной массе из металлов.

Итак, вещества в жидком состоянии обладают различной растворимостью, зависящей от их состава, температуры и, наверное, также от давления. Поэтому наряду с жидкими растворами могут существовать вещества в твердом и газообразном состоянии. Выяснение законов равновесия в такой системе, называемого гетерогенным равновесием, составляет любимый предмет изучения теоретической химии. Все эти законы находят свое применение и в петрографии, коль скоро магма представляет жидкий раствор, аналогичный водным растворам, которыми и занималась до последнего времени физикохимия. Установление полной аналогии между водными и огненно-жидкими растворами является нашей ближайшей задачей, разрешение которой укажет значение упомянутых выше основных гипотез современного учения об изверженных горных породах.

Выше уже была намечена возможность существования твердых растворов. Понятие о последних является уже менее обыденным, почему необходимо остановиться на его выяснении. Основное свойство растворов, как было указано ранее, заключается в том, что компоненты их обладают полной смесимостью хотя бы между пределами, довольно ограниченными. Поэтому двойные соли, например доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ или диопсид $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$, не могут считаться твердыми растворами. Не могут быть отнесены к последним и горные породы в целом, хотя они образовались из огненно-жидких растворов, так как в них иногда и простым глазом намечается разделение на отдельные фазы или составные части. Но вот смешанные изоморфные кристаллы, например плагиоклазы или пироксены, принадлежат уже к твердым растворам, так как их компоненты смешиваются во всех отношениях на протяжении всего ряда или в некоторых определенных пределах; Вант-Гофф, введший в науку понятие о твердых растворах, отнес их именно к смешанным изоморфным кристаллам. В настоящее время принимают, что твердые растворы могут быть получены от смешения и неизоморфных веществ, если только сохраняется приведенное выше условие. Например, углерод может растворяться в твердом железе и в других металлах иногда в довольно значительном количестве; диопсид, являющийся двойной солью, может растворить в себе до 60% MgSiO_3 . Поэтому вообще нет необходимости придавать одинаковые формулы составу компонентов твердых растворов. Другое отличительное свойство твердых, как и всяких других, растворов выражается

в том, что составные части их находятся в одной фазе и не могут быть механически отделены друг от друга. В каком виде смешиваются между собою компоненты твердых растворов, т. е. какое строение имеет физическая молекула последних, до сих пор окончательно не выяснено; важно лишь то, что твердые растворы представляют однородные кристаллические образования.

Свойство веществ давать твердые растворы имеет большое значение в минеральном царстве, что сразу бросается в глаза при рассмотрении таблиц минералов. Там очень часто мы встречаем случаи, когда какой-нибудь элемент в различных отношениях замещается другим элементом, причем минерал удерживает свои индивидуальные особенности, а это и является характерным для твердых растворов. Мало того, многие соединения могут существовать при обычных условиях лишь в растворе; например, ортосиликат кальция ромбической системы в природе не существует, но примесь его в обыкновенных оливинах встречается довольно часто.

Что касается пределов растворимости компонентов твердых растворов, то они являются обыкновенно суженными, чем в жидких растворах, но нередки случаи, когда наблюдается полная смешимость этих компонентов во всех пропорциях; таковы, например, альбит и анортит, образующие ряд плаггиоклазов; различные квасцы, сульфаты двухатомных металлов и т. п. Вообще же, как и в жидких растворах, концентрация твердых растворов зависит от их состава, температуры (например, в системе $KCl + NaCl$) и до некоторой степени от давления. При изменении этих условий должна изменяться и растворимость. Интересно представить себе, как будет выражаться это изменение в твердых растворах как твердых телах, обладающих очень большой вязкостью. Что происходит при изменении концентрации в жидких растворах — понять да и наблюдать довольно легко: при увеличении растворимости данного компонента последний благодаря диффузии постепенно переходит в раствор, при уменьшении — выделяется из раствора и отделяется от него по своему удельному весу. То же самое должно быть и в твердых растворах, но здесь выступают на сцену вязкость и некоторые другие обстоятельства (например, значительная упругость пара), которые делают диффузию и разделение по удельному весу почти невозможными или чрезвычайно замедляют их. Вследствие этого наблюдать в лабораториях данные процессы удается сравнительно очень редко, например при це-

ментации железа, но природа — эта гигантская лаборатория, не стесняющаяся временем, — дает нам примеры подобных образований. Возьмем плагиоклазы, являющиеся самыми важными породообразующими минералами. Как увидим ниже, кристаллы этих минералов должны почти всегда обладать так называемой зонарной структурой, которая выражается в том, что они состоят из отдельных, иногда очень тонких слоев, отличающихся по своему составу. Такое строение плагиоклазов обуславливается, вообще говоря, тем обстоятельством, что внешние условия при образовании их менялись, и, согласно законам о гетерогенном равновесии, этому отвечало изменение состава выделившихся продуктов. Но когда уже образование породы, содержащей данные плагиоклазы, закончилось, и внешние условия стали постоянными, непременно должно наступить выравнивание состава между отдельными слоями зонарного плагиоклаза. И вот наблюдения обнаруживают тот интересный факт, что плагиоклазы новейших, само собой разумеется преимущественно эффузивных, изверженных пород отличаются обыкновенно резкой зонарностью, в то время как в соответствующих древних образованиях эта зонарность встречается сравнительно реже и проявляется не в такой степени. Очевидно, диффузия происходит в данных твердых растворах так медленно, что требуется много миллионов лет, чтобы результаты ее стали заметными. Если эта диффузия не закончилась и молекулы того или другого строения находятся на пути к устойчивому положению, то кристалл должен иметь мутный вид, что действительно наблюдается в плагиоклазах большей части древних горных пород.

Итак, растворы могут находиться в любом из трех агрегативных состояний: газообразном, жидком и твердом. Но этим дело не ограничивается. Вещества обладают еще целым рядом других состояний, при которых тоже возможны растворы; речь идет о полиморфных модификациях твердых тел, уже давно известных, например в минералогии, но почему-то часто резко отделяемых от так называемых агрегативных состояний вещества. Между тем нужно утверждать, что эти полиморфные модификации суть явления того же порядка, что и агрегативные состояния.

Для объяснения этого положения проследим, например, изменения вещества, имеющего состав H_2O . При некоторых известных всем условиях это вещество находится в газообразном состоянии и называется в общежитии паром. При изменении этих условий, например понижении тем-

пературы, наступит момент, когда данное вещество перейдет в жидкое состояние, и мы получим воду, все физические свойства которой существенно отличаются от соответствующих свойств пара. Принимают с большей долей очевидности, что это изменение состояния вещества выражается в изменении распределения его молекул и, следовательно, в изменении внутренней энергии, что, как известно, проявляется в выделении скрытой теплоты испарения. При дальнейшем понижении температуры вода переходит в лед, имеющий кристаллическое сложение и вообще по всем своим свойствам отличающийся от жидкой модификации этого вещества. Понятно, что и этот переход воды в так называемое твердое агрегативное состояние влечет за собой изменение внутренней энергии вещества и теплоты таяния или плавления. Если мы станем еще изменять физические условия в том же направлении, то найдем, что лед, называемый α -лед, или лед I, наш обычный лед, переходит в другую кристаллическую модификацию — лед II, или β -лед, принадлежащий другому классу симметрии и вообще отличающийся от льда I по своим физическим свойствам. Этот переход также сопровождается тепловыми эффектами, уловимыми, правда, лишь при помощи точных методов.

Из этого мы уже можем заключить, что принципиально нет никакой разницы в характере перехода вещества, например, из жидкого состояния в кристаллическое и из одной твердой модификации в другую. Наблюдения показали, что всякое вещество при известных условиях может находиться в газообразном, жидком и в одной или в нескольких кристаллических модификациях. Необходимо заметить, что лучше совсем не употреблять названия «твердое агрегативное состояние», ибо, во-первых, таких состояний может быть несколько и, во-вторых, настоящим твердым веществом может быть только кристаллическое; так, стекло кажется твердым веществом, но в действительности представляет переохлажденную жидкость или жидкость с большим внутренним трением, так как переход сплава в стекло происходит постепенно и не сопровождается какими-либо тепловыми эффектами, указывающими на изменение агрегативного состояния вещества.

Если, действительно, нет принципиальной разницы между всеми состояниями вещества и последнее может быть получено в газообразном и кристаллическом состоянии, то вполне вероятно, что всякое вещество может существовать в любом из возможных кристаллических со-

стояний, т. е. может кристаллизоваться в любом из 32 классов симметрии. Уже в природе некоторые вещества проявляются в нескольких кристаллических модификациях. Так, CaCO_3 кристаллизуется то в гексагональной (кальцит), то в ромбической (арагонит) системе; FeS_2 известен как тессеральный пирит и ромбический марказит; SiO_2 проявляется в тригональной (кварц), ромбический (тридимит) и квадратной (кristобалит) системах; в трех системах кристаллизуются также TiO_2 (брукит, анатаз, рутил) и Al_2SiO_5 (андалузит, силлиманит и дистен) и т. д. Вообще с улучшением методов исследования и увеличением опытного материала открываются все новые кристаллические разности тех или других веществ.

Впрочем едва ли удастся когда-нибудь встретить в природе представителей всех 32 классов хотя бы для одного вещества, потому что существование каждой модификации определяется известными физическими условиями, какие не всегда можно встретить на нашей земле при настоящем ее энтропическом состоянии. Собственно говоря, в настоящее время верхняя часть земной коры, над материалом которой мы производим свои наблюдения, находится при одинаковых приблизительно условиях, и поэтому может показаться даже странным совместное существование нескольких модификаций одного и того же вещества. Но такое сожительство кристаллических разностей, стойких при равных условиях, является чисто временным и обуславливается крайней медленностью превращений из одной твердой модификации в другую, в чем мы убеждаемся лабораторными испытаниями. Природа иногда дает нам указания на то, с какой скоростью происходят такие превращения. Возьмем для примера кристаллические разности CaCO_3 — кальцит и арагонит, из которых стойким при наших естественных условиях является кальцит. Как известно, морские животные отлагают свой известковый скелет большей частью в виде арагонита, и нет никаких оснований полагать, что древние животные усваивали CaCO_3 в виде какой-нибудь другой кристаллической модификации. И вот наблюдения показывают нам, что по мере удаления в глубь веков в ископаемых раковинах арагонит все более замещается кальцитом, и в палеозойских ископаемых встречается исключительно последний.

Уже на этом примере мы видим, какой большой геологический интерес имеют наблюдения над полиморфными разностями минералов. Поэтому установление границ

стойкости различных модификаций веществ является непреложной задачей петрографии. В этом деле наша наука не может совершенно обойтись без помощи физической химии, которой принадлежит заслуга установления современного понятия о состоянии вещества и которая дает нам точные методы искусственного получения различных кристаллических разновидностей минералов и определения тех физических условий, при которых они могут существовать. Не прошло еще десяти лет, как начались точные исследования в области петрографии согласно этим методам, и последняя оказалась обогащенной массой новых фактов, открывающих новые горизонты в деле изучения горных пород. Например, мы теперь знаем, что метасиликат магния ($MgSiO_3$), известный до сих пор преимущественно в виде минерала энстатита, проявляется по крайней мере в пяти кристаллических модификациях, и знаем условия существования этих разновидностей, благодаря чему становится ясным образование каменных метеоритов и некоторых горных пород. Чрезвычайно интересно также открытие, что под видом минералов кварца скрывается несколько разновидностей, отличающихся не резко друг от друга и потому ускользавших до сих пор от разделения. Условия существования этих разновидностей отличаются особенной определенностью, так что внесено даже предложение принять кварц за один из геологических термометров, пригодных для установления температурных условий образования кварцевых изверженных пород. Пользуясь этим термометром, мы теперь уверенно можем сказать с точностью до десятка градусов, при какой температуре выкристаллизовывались там, на большой глубине, граниты и связанные с ними пегматиты. Каким интересным это будет сухое до сих пор дело определения горных пород, когда мы познакомимся со всеми свойствами породообразующих минералов!

Но вернемся к вопросу о твердых растворах. Если растворимость веществ при переходе из жидкого состояния в ближайшее кристаллическое часто является довольно значительной, то весьма естественно ожидать, что это изменение может наступить и в твердых растворах при переходе компонентов последних из одной кристаллической модификации в другую, причем получится тоже твердый раствор, с принципиальной стороны тоже отличающийся от предыдущего, как этот последний от жидкого. Конечно, изменение растворимости при переходе твердого раствора в твердый же раствор другой кристаллической модификации должно сопровождаться выделением или

растворением какого-нибудь компонента, как и в жидких растворах, но проявляться это будет несовершенно и вообще крайне медленно в виду особых свойств твердых веществ. Как было указано для аналогичного случая выше, примеры такого явления большею частью можно найти лишь в природе, а не в лабораторной практике. Такой пример мы имеем, между прочим, в виде очень важных породообразующих минералов — калиево-натровых полевых шпатов. Наблюдения показывают, что в новейших эффузивных породах эти минералы обычно являются вполне однородными, представляя настоящие твердые растворы, тогда как в таких же древних породах мы имеем обыкновенно различного рода пертитовые образования, в которых калиевый и натровый компоненты подверглись более или менее полному разделению, проявляясь в различных кристаллических системах. Итак, при температуре кристаллизации этих пород условия были благоприятными для образования твердых растворов калиево-натровых полевых шпатов, но при настоящих температурных условиях один из этих компонентов — именно натровый — не может существовать в прежней кристаллической системе и переходит в альбит, причем получается новый твердый раствор, отличающийся меньшей растворимостью, и альбит выделяется в виде микропертитовых вростков. Этот процесс в виду малой подвижности молекул твердых тел совершается так долго, что для более или менее заметного его проявления требуются целые геологические периоды.

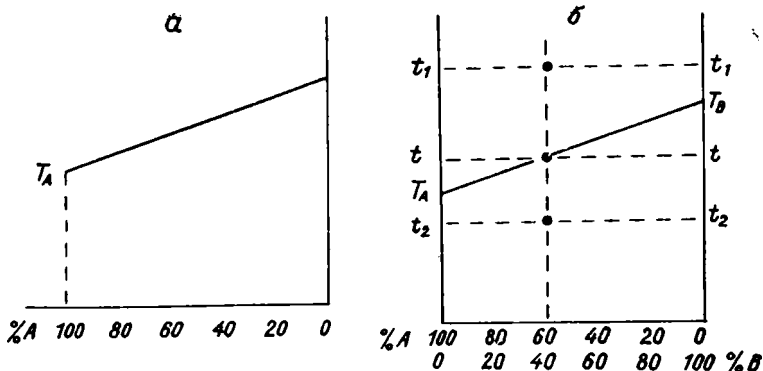
Учение о растворах является краеугольным камнем здания, построенного физической химией; оно служит ключом к познанию явлений неорганической природы, ибо в конечном итоге всякую систему веществ можно представить себе как комплекс растворов или, еще лучше, как один раствор с различной смесимостью его составных частей, которые, значит, могут существовать наряду с ним и самостоятельно. Так как (по нашей гипотезе) то вещество, из которого образовались доступные нашему исследованию изверженные горные породы, представляет совершенный раствор, то данный отдел физической химии имеет особенное значение для петрографии. Поэтому нам необходимо познакомиться с такими законами, которые управляют равновесием в системах веществ.

Вперед можно сказать, что явления, сопровождающие установление такого равновесия, должны отличаться большей сложностью, потому что здесь играют роль не

только физические условия, вообще разнообразные, но и число компонентов в системе. Наибольшее усложнение вопроса обуславливается последним обстоятельством, и можно сказать, что до настоящего времени более или менее полной теоретической обработке подверглись лишь системы, состоящие из двух и отчасти из трех компонентов. В дальнейшем будут рассмотрены преимущественно системы, состоящие из двух составных частей.

Прежде чем приступить к определению тех закономерностей, которые управляют равновесием в выбранных нами системах, необходимо установить, с каким числом факторов нам придется иметь дело. Конечно, такими факторами, прежде всего, являются сами компоненты, число которых и состав нам должны быть известны. Другие факторы скрываются под тем, что мы назвали выше физическими условиями. Физикохимия устанавливает, что для каждого данного момента эти условия суть температура и давление. Итак, при рассмотрении даже двойных систем приходится иметь дело, собственно, с четырьмя элементами, различные комбинации которых обуславливают громадное количество случаев, подлежащих изучению. Таким образом, даже эта наиболее простая по своему составу система является настолько сложной по исполнению, что ее необходимо исследовать по частям, принимая один элемент за постоянный. К счастью, силикатные системы упрощаются сами собой в виду того обстоятельства, что, как показывает опыт, давление является не особенно существенным прямым фактором, влияющим на установление в них гетерогенного равновесия.

Таким образом, практически двойную систему можно принять состоящей из трех элементов: двух компонентов и температуры. Это упрощение крайне желательно еще в одном отношении. Дело в том, что в физической химии принято результаты всех исследований представлять графически в виде особых диаграмм; можно сказать, что последние сопровождают всякое исследование и сам способ не только служит для наглядности, но является, так сказать, одним из методов исследования. Понятно, чем меньше элементов в изучаемой нами системе, тем удобнее и легче применять этот способ. Как мы только что видели, наиболее простая система состоит все-таки из трех элементов. Поэтому казалось бы, что она может быть изображена лишь в виде стереограммы или должна быть разбита на части, чтобы можно было применить более наглядный способ изображения на плоскости. Но такое решение воп-



Фиг. 1.

роса представляло бы большие неудобства и значительно ограничивало бы приложимость графического метода. Необходимо было найти способ изображения двойных систем на плоскости. Это оказалось осуществимым ввиду того, что здесь мы имеем функцию от двух переменных, связанных между собою. Действительно, если выразить состав нашей системы в весовом или лучше молекулярном проценте обоих компонентов, то достаточно знать процентное содержание одного из этих компонентов, чтобы иметь представление о составе всей системы.

Будем откладывать на оси абсцисс прямоугольной системы координат процентное содержание одного компонента (A), а на оси ординат температуру, положим, плавления соответствующей смеси, тогда получим диаграмму (фиг. 1, a), показывающую изменение точки плавления смеси при изменении содержания этого компонента от 100 до 0%.

К этой диаграмме можно сделать некоторые дополнения. Если, положим, наша система содержит 80% компонента A , то, значит, в ней заключается 20% другого компонента B и т. д., т. е. каждая точка оси абсцисс определяет собою содержание той и другой составной части смеси, взаимно дополняющих друг друга до 100%. Иными словами, если бы мы составили такую же диаграмму в том же масштабе для компонента B , откладывая лишь процентное содержание последнего в обратном направлении, то при наложении она совпала бы с первой, что и показано на фиг. 1. В таком сложном виде диаграммы обыкновенно и составляются при исследованиях. Необходимо помнить, что конечные точки отрезка оси абсцисс отве-

чают чистым компонентам; смесь тем богаче каким-нибудь компонентом, чем ближе лежит отвечающая ей точка к соответствующей конечной точке диаграммы.

Ось абсцисс этой диаграммы и обе оси ординат ограничивают собою часть плоскости, бесконечно притягивающуюся вверх. В нашем случае это поле оказалось разделенным линией $T_A T_B$, которая представляет геометрическое место точек плавления наших смесей при изменении последних между 100% A и 100% B . Какой же физический смысл имеет это разделение поля диаграммы? Чтобы понять это, возьмем для примера смесь, состоящую из 60% A и 40% B . Пусть эта смесь нагрета до температуры t , тогда точка, определяющая состояние этой системы, ложится, как видим, на линию $T_A T_B$, т. е. наша смесь при этой температуре должна начинать расплавляться. Если станем нагревать эту смесь дальше, то она вся расплавится и при какой-нибудь температуре t_1 будет находиться лишь в жидком состоянии; если, наоборот, охлаждать смесь, то уже расплавившаяся часть последней снова застынет, и при всякой температуре t_2 , лежащей ниже t , смесь будет находиться лишь в твердом состоянии. Иначе говоря, линия $T_A T_B$ есть демаркационная линия, отделяющая жидкую фазу системы от твердой.

Так как вещество может находиться во многих состояниях, то линий, аналогичных $T_A T_B$, можно провести на данной диаграмме несколько, и все они будут определять те условия, при которых вещество переходит из одного состояния в другое. Конечно, форма этих линий и их взаимное расположение весьма варьируют в зависимости от химического состава системы.

Такой вид имеют диаграммы, характеризующие состояние двойной системы в зависимости от состава и температуры последней при некотором определенном давлении. При других значениях давления эти диаграммы получают несколько иной вид. Нужно только заметить, что осуществить опыты в широких пределах изменения давления не удастся, и потому до сих пор для большей части систем известны диаграммы лишь при одном, обыкновенно атмосферном, давлении. Если же принять во внимание изменение и данного фактора и изобразить состояние системы в одной диаграмме, то нужно уже обратиться к помощи третьего измерения и строить эти диаграммы в пространстве.

Впрочем, влияние давления на гетерогенное равновесие силикатных сплавов незначительно, почему оно обыкновенно и не принимается во внимание.

Перейдем теперь к рассмотрению тех случаев, которые могут представиться при изучении двойных систем, и выведем законы равновесия в последних при различных физических условиях — преимущественно при различных температурах; что же касается изменения состояния систем, вызванного изменениями не температуры или давления, а относительного состава смесей (например, при улетучивании газов или воды в простых растворах или при сгорании некоторых элементов в твердых растворах), то это явление не имеет самостоятельного значения и в особом исследовании не нуждается. Главное свое внимание мы обратим на определение равновесия между жидкой и твердой фазами системы, ибо это находит непосредственное применение к вопросу об образовании горных пород из огненно-жидких растворов. Для упрощения дела допустим, что компоненты системы в жидком состоянии смешиваются во всех отношениях.

При переходе двойной системы, представляющей жидкий раствор, в кристаллическое (твердое) состояние может представиться несколько случаев.

А. Система образует в твердом состоянии тоже непрерывный раствор. В этом случае температуры плавления (или застывания) изменяются по так называемому закону аддитивности, и диаграмма состояния системы получает один из следующих трех возможных видов (фиг. 2, а).

Однако теория и опыт показывают, что переход из одного состояния в другое не совершается так просто и быстро, как это видно на приведенных схематических диаграммах. Оказывается, этот переход происходит большей частью в известном температурном интервале и равновесие устанавливается постепенно. С некоторым приближением можно сказать, что температуры плавления и застывания твердых растворов не совпадают. Таким образом, на диаграммах твердая и жидкая фазы отделяются друг от друга линиями, и сами диаграммы получают вид, показанный на фиг. 2, б. Необходимо подчеркнуть, что присутствие двух демаркационных линий, из которых кривая застывания лежит выше кривой плавления, характерно именно для растворов, свойства которых, в частности температуры перехода из одного состояния в другое, изменяются в одном направлении. Поэтому в конечных точках, отвечающих чистым компонентам, и в точках пе-

чают чистым компонентам; смесь тем богаче каким-нибудь компонентом, чем ближе лежит отвечающая ей точка к соответствующей конечной точке диаграммы.

Ось абсцисс этой диаграммы и обе оси ординат ограничивают собою часть плоскости, бесконечно притягивающуюся вверх. В нашем случае это поле оказалось разделенным линией $T_A T_B$, которая представляет геометрическое место точек плавления наших смесей при изменении последних между 100% A и 100% B . Какой же физический смысл имеет это разделение поля диаграммы? Чтобы понять это, возьмем для примера смесь, состоящую из 60% A и 40% B . Пусть эта смесь нагрета до температуры t , тогда точка, определяющая состояние этой системы, ложится, как видим, на линию $T_A T_B$, т. е. наша смесь при этой температуре должна начинать расплавляться. Если станем нагревать эту смесь дальше, то она вся расплавится и при какой-нибудь температуре t_1 будет находиться лишь в жидком состоянии; если, наоборот, охлаждать смесь, то уже расплавившаяся часть последней снова застынет, и при всякой температуре t_2 , лежащей ниже t , смесь будет находиться лишь в твердом состоянии. Иначе говоря, линия $T_A T_B$ есть демаркационная линия, отделяющая жидкую фазу системы от твердой.

Так как вещество может находиться во многих состояниях, то линий, аналогичных $T_A T_B$, можно провести на данной диаграмме несколько, и все они будут определять те условия, при которых вещество переходит из одного состояния в другое. Конечно, форма этих линий и их взаимное расположение весьма варьируют в зависимости от химического состава системы.

Такой вид имеют диаграммы, характеризующие состояние двойной системы в зависимости от состава и температуры последней при некотором определенном давлении. При других значениях давления эти диаграммы получают несколько иной вид. Нужно только заметить, что осуществить опыты в широких пределах изменения давления не удастся, и потому до сих пор для большей части систем известны диаграммы лишь при одном, обыкновенно атмосферном, давлении. Если же принять во внимание изменение и данного фактора и изобразить состояние системы в одной диаграмме, то нужно уже обратиться к помощи третьего измерения и строить эти диаграммы в пространстве.

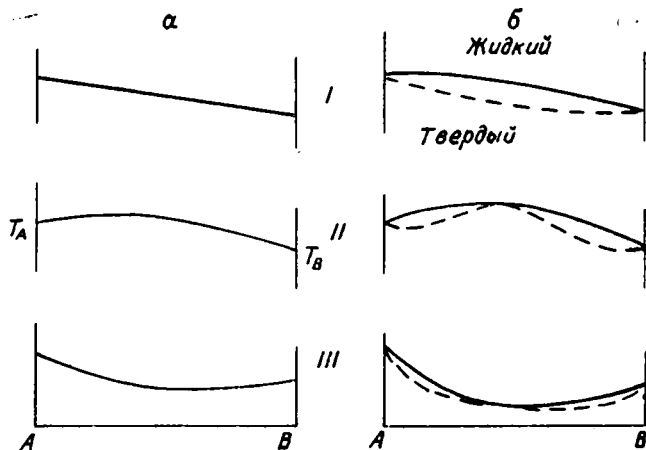
Впрочем, влияние давления на гетерогенное равновесие силикатных сплавов незначительно, почему оно обыкновенно и не принимается во внимание.

Перейдем теперь к рассмотрению тех случаев, которые могут представиться при изучении двойных систем, и выведем законы равновесия в последних при различных физических условиях — преимущественно при различных температурах; что же касается изменения состояния систем, вызванного изменениями не температуры или давления, а относительного состава смесей (например, при улетучивании газов или воды в простых растворах или при сгорании некоторых элементов в твердых растворах), то это явление не имеет самостоятельного значения и в особом исследовании не нуждается. Главное свое внимание мы обратим на определение равновесия между жидкой и твердой фазами системы, ибо это находит непосредственное применение к вопросу об образовании горных пород из огненно-жидких растворов. Для упрощения дела допустим, что компоненты системы в жидком состоянии смешиваются во всех отношениях.

При переходе двойной системы, представляющей жидкий раствор, в кристаллическое (твердое) состояние может представиться несколько случаев.

А. Система образует в твердом состоянии тоже непрерывный раствор. В этом случае температуры плавления (или застывания) изменяются по так называемому закону аддитивности, и диаграмма состояния системы получает один из следующих трех возможных видов (фиг. 2, а).

Однако теория и опыт показывают, что переход из одного состояния в другое не совершается так просто и быстро, как это видно на приведенных схематических диаграммах. Оказывается, этот переход происходит большей частью в известном температурном интервале и равновесие устанавливается постепенно. С некоторым приближением можно сказать, что температуры плавления и застывания твердых растворов не совпадают. Таким образом, на диаграммах твердая и жидкая фазы отделяются друг от друга линиями, и сами диаграммы получают вид, показанный на фиг. 2, б. Необходимо подчеркнуть, что присутствие двух демаркационных линий, из которых кривая застывания лежит выше кривой плавления, характерно именно для растворов, свойства которых, в частности температуры перехода из одного состояния в другое, изменяются в одном направлении. Поэтому в конечных точках, отвечающих чистым компонентам, и в точках пе-

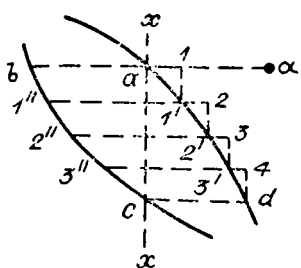


Фиг. 2.

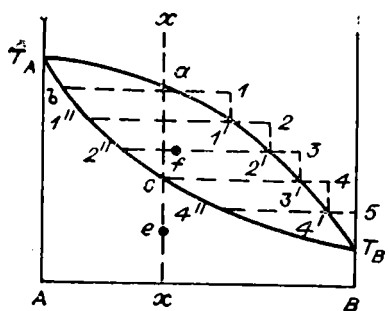
региба кривые сливаются, и указанный переход происходит без всяких промежуточных стадий.

Часть поля диаграммы, заключенная между кривыми, определяет те условия, при которых твердая и жидкая фазы существуют совместно и могут существовать неопределенно долго, если температура будет сохраняться постоянной. Посмотрим, что происходит с раствором (или сплавом) при переходе точки, определяющей его, через этот промежуток.

Пусть постепенно охлаждается сплав состава x (фиг. 3). Когда его фигуративная точка достигнет кривой застывания в точке a , должно начаться выделение твердой фазы. Состав этой фазы не будет отвечать составу сплава, ибо такая твердая фаза плавится уже в точке c при температуре гораздо более низкой. Выделится твердый раствор состава, определяемого точкой b , ибо только такой раствор при данной температуре находится на границе твердой и жидкой фаз. Если поддерживать систему при постоянной температуре, то выделение b будет происходить бесконечно долго в случае неограниченного количества сплава и до некоторого предела при конечном объеме последнего. Этот предел устанавливается относительным составом выделяющегося твердого раствора и первичного сплава; пусть по окончании выделения b жидкая фаза, отклоняющаяся все время в сторону компонента B , получит некоторый состав α . Вообще при по-



Фиг. 3.



Фиг. 4.

стоянной температуре существует равновесие между твердой и жидкой фазами, хотя нужно сказать, что последние являются переменными по своему составу, а твердая фаза всегда богаче более трудноплавким компонентом.

Но мы приняли, что сплав охлаждается и охлаждается постепенно, т. е. на бесконечно малую величину в бесконечно малое время. Примем для удобства рассуждения, что охлаждение происходит прерывисто и температура поддерживается равномерной в течение известного промежутка времени. Пусть в первый промежуток времени выделится известное количество b , причем сплав примет состав 1 . Понизим затем температуру на конечную величину так, чтобы фигуративная точка жидкой фазы опустилась на кривую застывания в точке $1'$. Рассуждая по предыдущему, мы найдем, что наступит новое равновесие между жидкой и твердой фазами, причем состав последней определится точкой $1''$ и будет таким образом отличаться от состава предыдущего выделения b . Конечно, эта выделившаяся твердая фаза b попадает в условия, невозможные для существования, и начнет переходить в раствор, чему будет помогать скрытая теплота плавления выделяющегося раствора $1''$. Примем, что второй промежуток времени достаточен для того, чтобы перевести все количество b в жидкое состояние, и пусть при этом фигуративная точка жидкой фазы займет положение 2 .

Рассуждая дальше в том же направлении, мы придем, наконец, к системе, состоящей из жидкой фазы d и находящегося с нею в равновесии твердого раствора c . Так как состав последнего в конце концов будет идентичен

составу нашего сплава, то вся жидкая фаза может перейти в однородный твердый раствор состава, определяемого точкой c .

Все наши принятые выше допущения окажутся вполне возможными, если охлаждение будет равномерным. В таком совершенном случае продукт кристаллизации жидкого раствора будет иметь состав последнего и, пожалуй, ничто не останется свидетелем всех промежуточных состояний.

Описанный идеальный случай редко может встречаться в природе. Обыкновенно охлаждение происходит скачками, и выделившаяся в какой-нибудь промежуток времени твердая фаза по тем или другим причинам (например, вследствие облекания продуктов этой фазы вновь выделяющимися кристаллическими образованиями) не успевает перейти в жидкое состояние в следующий промежуток времени. В этом случае продукт кристаллизации сплава имеет более сложный характер.

На фиг. 4 показан ход кристаллизации сплава при таких условиях. Согласно нашему предположению, твердые фазы b , $1''$ и т. д. не растворяются при выделении следующих твердых растворов, так что кристалл имеет зонарное или вообще неправильное строение. Так как в этом случае состав жидкой фазы d не может уже сравняться с составом первичного сплава, то кристаллизация не закончится в точке c , и процесс тем же порядком пройдет до конца, т. е. до того момента, когда жидкая фаза получит состав 5 — состав чистого компонента B и дальнейшее расщепление сделается невозможным. Таким образом, в результате перехода сплава в твердое состояние получают кристаллы с зонами, состав которых от центра к периферии кристаллов меняется между b и чистым компонентом B , т. е. *в зонарных кристаллах внутренние зоны богаче более трудноплавким компонентом*. Впрочем, если в каждый следующий промежуток времени, в течение которого происходит равномерная кристаллизация, будут образовываться самостоятельные кристаллы, то зонарных индивидов мы не заметим, зато состав отдельных серий кристаллических образований будет различным. Толщина зон или величина отдельных однородных кристаллов и характер их проявления обуславливаются, очевидно, тем обстоятельством, насколько продолжителен каждый промежуток равномерной кристаллизации и как далеко проходит вторичное растворение прежде выделившихся твердых раство-

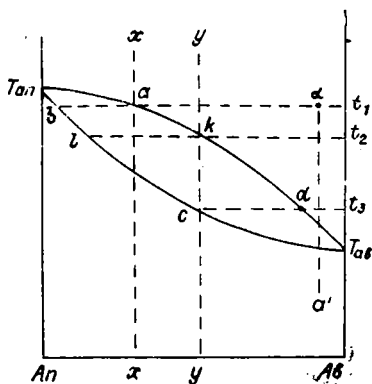
ров. Кроме того, усложнение явления вызывается еще рядом других обстоятельств.

До сих пор мы полагали, что наш сплав является более или менее совершенною жидкостью и что переход его в твердое состояние происходит одновременно и беспрепятственно. В действительности, жидкости, особенно силикатные сплавы, обладают всегда известной, иногда очень значительной вязкостью, которая препятствует быстрому установлению равновесия, и склонны бывают к переохлаждению. Так представим себе, что наш сплав xx (см. фиг. 4) переохладится до температуры, определяемой точкой e или даже c ; тогда при наступившей кристаллизации выделится лишь однородное кристаллическое образование того же состава, что и самый сплав. Такой случай особенно легко будет иметь место в системах, диаграммы которых отличаются малорасходящимися кривыми. Если переохлаждение достигнет лишь точки f , то получатся зонарные кристаллы, но состав зон будет колебаться не в таких широких пределах, как было показано ранее. Что касается вязкости, то она может сильно нарушить закономерный характер кристаллизации или даже совсем прекратить последнюю, если при некоторой температуре сплав делается настолько вязким, что не будет отличаться от твердого вещества, т. е. перейдет в стекло.

Все законности, регулирующие образование твердых растворов или, в частности, изоморфных кристаллов, непосредственно применимы к объяснению и пониманию многих явлений в области петрографии, раз, действительно, магма, из которой образовались изверженные породы, представляет настоящий раствор. Для примера возьмем плагиоклазы, которые, согласно микроскопическому и химическому анализам, образуют непрерывный ряд твердых растворов альбита и анортита.

Наблюдения показывают нам, что в существующих в природе кристаллах плагиоклазов, обыкновенно зонарных, внутренние, раньше отложившиеся зоны почти всегда богаче анортитом. Отсюда следует, что анортит имеет более высокую точку плавления, чем альбит (это доказано и экспериментально), и диаграмма данной системы должна быть представлена приблизительно в следующем виде (фиг. 5).

Если плагиоклазы данной породы являются зонарными, то, значит, охлаждение магмы, из которой образовалась порода, происходило скачками, и по характеру этих зон можно даже судить об относительной скорости



Фиг. 5.

таких сложных кристаллов плагиоклаза должны быть близки альбиту. В действительности, это иногда и встречается, но обыкновенно пределы, в которых колеблется состав отдельных зон, бывают невелики. Объясняется это отчасти влиянием примеси других компонентов, входящих в состав магмы, отчасти тем обстоятельством, что в конце кристаллизации плагиоклаза охлаждение происходило постепенно и, значит, наступили условия благоприятные для выделения однородных образований. Положим, например, что состав плагиоклаза состава xx (фиг. 5) охлаждается скачками в промежутке температур t_1 и t_2 , причем выделяются зонарные индивиды минерала. Пусть затем с того момента, как жидкая фаза получит состав, определяемый точкою k , наступит вполне равномерное и достаточно медленное охлаждение. Тогда после целого ряда промежуточных состояний вся оставшаяся часть сплава перейдет при температуре t_3 в однородный твердый раствор состава, определяемого точкою c . Этот твердый раствор может или обрастать ранее выделившиеся зонарные кристаллы, или образовывать самостоятельные однородные индивиды. Конечно, если охлаждение в последней стадии кристаллизации происходит очень медленно, то ранее выделившиеся зонарные кристаллы могут подвергнуться большому или меньшему растворению, и мы получим то, что в петрографии называется коррозией или резорбцией.

Посмотрим теперь, что означает присутствие лишь однородных кристаллов плагиоклаза в той или другой горной породе. Выше мы вывели, что такие образования по-

этого охлаждения. Интересно, что наиболее резкой зонарной структурой обладают жильные породы, поэтому мы можем с известной уверенностью говорить о том, что кристаллизация соответствующей магмы происходила еще при передвижении последней по трещине, заполнение которой дало жилу.

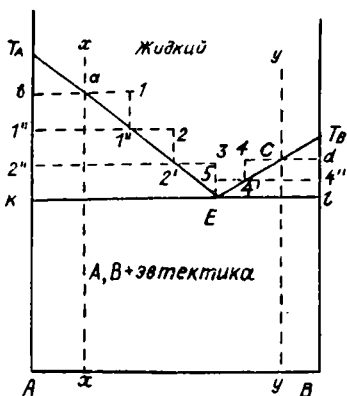
Согласно теории, при прерывистом охлаждении магмы наружные зоны

лучаются при очень медленном или равномерном охлаждении сплава. Очевидно, такие условия можно ожидать лишь при образовании больших масс интрузивных пород, и, действительно, в гранитах или, еще лучше, в более или менее мономинеральных анортозитах, лабрадоритах и т. п. плагиоклазы обыкновенно имеют однородное строение. Конечно, полной однородности здесь трудно ожидать, ибо равновесие при кристаллизации магмы устанавливается постепенно и некоторые промежуточные состояния могут сохраниться в окончательном продукте ее застывания.

Однородные кристаллы плагиоклаза могут еще получиться другим путем. Как было показано выше, если магма держалась долго при постоянной температуре t_1 (фиг. 5), то выделится много твердого раствора состава b , а жидкая фаза к концу рассматриваемого периода получит состав α . Если подвергнуть теперь систему быстрому охлаждению, то оставшаяся часть сплава раскристаллизуется, не успевши растворить кристаллов b , причем даст плагиоклазы, близкие к альбиту и проявляющиеся, конечно, в более мелких индивидах. Такой случай может встретиться в породах порфировой структуры.

Наконец, образование однородных кристаллов плагиоклаза может быть вызвано переохлаждением соответствующего раствора, что со своей стороны обуславливается преимущественно быстрым охлаждением. Так как при этом естественно получают более мелкие кристаллы, то такие образования скорее всего можно ожидать в эффузивных породах. И действительно, плагиоклазы основной массы порфиритов, как образовавшиеся в условиях переохлаждения лавы, обыкновенно являются однородными по своему строению.

Итак, исследование одних плагиоклазов с точки зрения учения о гетерогенном равновесии позволяет нам разбираться в иногда очень сложных условиях образования горных пород. Легко представить себе, какой размах примут петрографические исследования, когда нам будут известны все свойства как этих, так и других важных породообразующих минералов, большая часть которых представляет полные или частично изоморфные смеси или твердые растворы. Точное определение этих свойств может быть сделано лишь экспериментальным путем, и такая работа, несмотря на громадные технические затруднения, уже начата за последнее время и успешно подвигается вперед.



Фиг. 6.

T_A и T_B (фиг. 6). По закону Рауля и Вант-Гоффа, температура плавления вещества понижается при прибавлении к нему другого вещества, причем это понижение пропорционально количеству последнего. Применяя этот закон как к компоненту A , так и к компоненту B , мы найдем, что прямые перехода смеси из жидкого состояния в твердое будут идти наклонно вниз от точек T_A и T_B и пересекутся, следовательно, в некоторой точке E .

Возьмем сплав состава x . Когда температура его понизится так, что фигуративная точка займет положение a , начнется выделение твердой фазы. Последняя не может быть твердым раствором согласно заданным условиям, поэтому выделяться будут чистые компоненты. Не трудно видеть, что в нашем случае станет выделяться компонент A . Для удобства рассуждения допустим, что охлаждение системы происходит с перерывами. После выделения известного количества компонента A в первый промежуток времени состав жидкой фазы изменится в сторону увеличения компонента B , и фигуративная точка ее займет положение 1 . Охладим затем систему так, чтобы фигуративная точка жидкой фазы попала на разграничительную прямую в точке $1'$. По предыдущему снова должно начаться выделение твердой фазы, т. е. того же компонента A , и жидкая фаза займет положение 2 . Так будет продолжаться до тех пор, пока фигуративная точка жидкой фазы не совместится с точкой перелома прямой E . Если охлаждение происходит непрерывно, то также

В. Выше вы разобрали случай двойной системы, компоненты которой и в твердом состоянии смешиваются во всех отношениях. Теперь мы рассмотрим случай, когда компоненты двойной системы совершенно не дают твердых растворов. Обратимся опять к графическому методу исследования вопроса.

Даны два несмешивающихся в твердом состоянии компонента A и B , температуры плавления (или застывания) которых пусть будут

непрерывно будет выделяться компонент A , и состав жидкой фазы будет изменяться по прямой aE .

Чтобы понять, что произойдет с жидкой фазой в точке E , обратимся к правой части диаграммы. Исследуя аналогичным порядком охлаждение сплава состава yu , найдем, что при выделении компонента B фигуративная точка жидкой фазы будет идти по прямой $T_B E$, пока не попадет тоже в точку E . Следовательно, какой бы состав не имел первоначально сплав, при охлаждении его всегда придем к составу жидкой фазы, определяемому положением точки E . Очевидно, при дальнейшем понижении температуры жидкая фаза не может уже существовать, и оба компонента, входящие в его состав, будут выделяться одновременно, образуя так называемую эвтектику.

Таким образом, при охлаждении сплава, состоящего из двух несмешивающихся в твердом состоянии компонентов, сначала выделяется один какой-нибудь компонент, а затем тонкая иногда микрoзернистая смесь обоих компонентов — эвтектика. Какой из обоих компонентов выделяется в первую очередь, зависит от состава сплава по отношению к составу эвтектики — именно, выделяется вперед компонент, находящийся в избытке относительно последней. Что касается положения эвтектической точки E , то оно обуславливается высотой точек плавления чистых компонентов: она находится вообще ближе к компоненту с более низкой температурой плавления.

Так как эвтектическая точка отвечает наиболее низкой температуре, при которой может существовать жидкая фаза, то горизонтальная прямая диаграммы, проходящая через эту точку, вполне отделяет твердую фазу системы. Вообще поле диаграммы в пределах твердого и жидкого состояний системы разделяется на такие части:

все, что находится выше линий $T_A E$ — $E T_B$, отвечает лишь жидкому состоянию системы;

в треугольнике $T_A E k$ существует компонент A в твердом виде наряду со сплавом;

в треугольнике $T_B E l$ жидкая фаза находится в равновесии с твердым компонентом B ;

ниже прямой $k E l$ система существует лишь в твердом состоянии, будучи представлена A или B и эвтектикой.

Среди породообразующих минералов многие могут давать системы только что разобранного типа. Сюда относятся, например, кварц и ортоклаз; так как они обладают совершенно различным строением, то их неспособность образовывать твердые растворы вполне понятна.

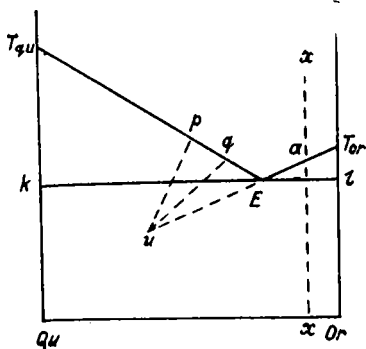
Наблюдения показывают, что приблизительно при 75% ортоклаза и 25% кварца получают оригинальные образования, представляющие тесное срастание указанных минералов и называемые пегматитом, микропегматитом, гранофитом, иногда микрофельзитом — в зависимости от крупности зерна. Нет сомнения, что подобные образования аналогичны эвтектике и указывают на одновременное выделение обоих минералов. Зная же эвтектический состав системы кварц — ортоклаз, мы по характеру первого выделения можем судить о приблизительном составе данной смеси. Характерно, что в породах гранитового семейства ортоклаз в громадном большинстве случаев выделяется раньше кварца; так как, по расчету, рассматриваемая эвтектика отвечает магме, содержащей приблизительно 71% кремнезема, а большинство пород являются менее кислыми, то такой порядок выделения вполне согласуется с приведенными выше законами кристаллизации растворов из двух несмешивающихся в твердом состоянии компонентов.

Впрочем, порядок выделения компонентов в силикатных сплавах часто нарушается склонностью последних к переохлаждению и перенасыщению. Пусть, например, фиг. 7 представляет диаграмму состояния системы кварц — ортоклаз. Может случиться при охлаждении сплава xx , что по инерции фигуративная точка жидкой фазы пройдет эвтектическую точку E и достигнет точки u , причем, конечно, выделится излишек количества ортоклаза. Но система не может остаться в таком переохлажденном и перенасыщенном состоянии и должна вернуться к положению равновесия, хотя бы под влиянием скрытой теплоты плавления как ортоклаза, так и кварца, который начнет выделяться из перенасыщенной им жидкой фазы. При этом процессе может быть несколько случаев:

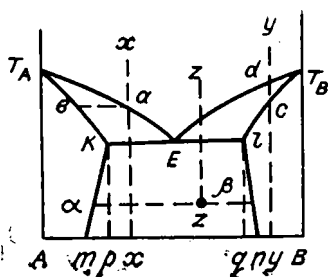
вся скрытая теплота плавления пойдет на растворение излишка выделившегося ортоклаза, и система вернется к эвтектической точке, причем в выделениях мы будем иметь корродированные кристаллы ортоклаза и некоторое количество индивидов кварца;

вся скрытая теплота плавления пойдет лишь на поднятие температуры системы, причем последняя займет положение точки p и по достижении эвтектической точки E будет содержать в выделениях корродированные кристаллы ортоклаза и кварца;

если скрытая теплота плавления пойдет и на поднятие температуры, и на растворение части выделившегося ор-



Фиг. 7.



Фиг. 8.

токлаза, то в конечном результате опять получим корродированные кристаллы ортоклаза и некоторое количество выделений кварца.

Такие комбинации характерны для многих кварцевых порфиров, в существенных чертах состоящих из кварца и полевого шпата. Поэтому исследование данных пород с точки зрения законов физикохимии может привести к интересным результатам, освещающим историю их образования. Между прочим, эти породы часто содержат корродированные выделения кварца, почему весьма возможно, что при больших давлениях, при которых кристаллизировались эти выделения, эвтектическая точка системы смещается в сторону кварца.

Необходимо еще заметить, что магма, компоненты которой связаны между собой по закону эвтектики, что и встречается в громадном большинстве случаев, должна давать породу порфировой структуры. Действительно, эвтектика вследствие большого количества образующихся при переходе ее в твердое состояние центров кристаллизации и значительно пониженной температуры, застывает в массу гораздо более мелкозернистую, чем выделения избыточного компонента системы, и, таким образом, имеющую вид основной массы порфировых пород. Правда, очень многие породы не имеют по крайней мере резко выраженной порфировой структуры, но это объясняется влиянием переохлаждения магмы, неодинаковой скоростью кристаллизации различных компонентов и, особенно в интрузивных породах, очень медленным охлаждением самой эвтектики, при котором она получает более крупнозернистое сложение.

Рассмотрим еще частный случай разобранного нами типа двойных систем, случай, чаще других встречающийся в природе. Положим именно, что компоненты обладают все-таки некоторой смесимостью в твердом состоянии т. е. каждый из них может растворить в себе большее или меньшее количество другого. Комбинируя таким образом свойства обоих основных типов двойных систем, мы для рассматриваемого случая можем составить диаграмму состояния, представленную на фиг. 8. Чтобы понять значение этой диаграммы, рассмотрим несколько примеров.

Пусть нам дан состав сплава xx . Когда фигуративная точка его займет положение a , начнет выделяться твердый раствор состава, определяемого точкой b . Рассуждая по предыдущему, мы найдем, что при дальнейшем охлаждении состав выделяющейся твердой фазы будет меняться от b до k , в то время как фигуративная точка жидкой фазы будет скользить по aE и, наконец, займет положение эвтектической точки E . Если охладить еще систему, то все должно перейти в твердое состояние, причем выделяется одновременно твердые растворы k и l .

Отличие этого частного случая заключается в том что первые выделения являются вообще неоднородными по своему составу и что эвтектика состоит не из чистых компонентов, а из их крайних растворов друг в друге. Необходимо еще отметить, что первые выделения могут и не получаться; действительно, если охлаждение происходит таким образом, что выделившийся в предыдущий момент твердый раствор расплавится при кристаллизации жидкой фазы в следующий момент, то от выделившихся между b и k продуктов ничего не останется, и весь сплав застынет в виде эвтектики, хотя и не будет иметь состава, отвечающего эвтектической точке.

Возьмем другой состав сплава — yy . Если охлаждение его происходит вполне равномерно, так что все промежуточные продукты растворяются, то мы получим однородные кристаллы того же состава, выделившиеся в точке c . В противном случае будем иметь первые выделения состава, меняющегося между d и l , и, конечно, эвтектику kl . Процесс еще более усложняется, если произойдет переохлаждение.

Посмотрим теперь, какое значение имеют две линии, показанные на диаграмме — именно km и ln . Из предыдущего ясно, что все точки прямой kl между крайними ее точками отвечают системам, которые в твердом состоя-

нии не могут существовать: вместо них получается смесь двух твердых растворов — эвтектика. При дальнейшем охлаждении этих систем растворимость компонентов вообще не увеличивается, и, значит, площадь, описанная прямой kl при движении ее вниз, будет отвечать нестойким системам. Но растворимость веществ с понижением температуры в громадном большинстве случаев уменьшается, поэтому площадь должна увеличиться, что выразится в расхождении прямых km и ln , ограничивающих ее с боков. Итак, всякая система Z , попадающая в пределы этой площади, должна распасться на твердые растворы α и β . Из этого можно, между прочим, вывести и такое заключение, что первичная эвтектика при дальнейшем охлаждении становится нестойкой, ибо фигуративные точки компонентов ее, скользя по ординатам kr и lq , попадут на указанную площадь; поэтому при охлаждении эвтектики все время должно происходить выделение (Entmischung) избыточного количества того или другого чистого компонента. Конечно, этот процесс в большинстве случаев проявляется крайне медленно.

Как видим, этот случай двойных систем отличается большой сложностью; поэтому применять его к петрографическим явлениям нужно с большой осторожностью. Чтобы пояснить это, возьмем для примера систему энстатит — моноклинный авгит, диаграмма которой на основании некоторых данных может быть представлена приблизительно следующим образом (фиг. 9).

Будем охлаждать сплав xx таким образом, чтобы получились однородные кристаллы состава s . Если дальнейшее охлаждение полученных кристаллов провести очень быстро, то они подвергаются своего рода закалке и чрезвычайно долго могут находиться в неустойчивом при низкой температуре состоянии. Такой случай представляется, например, в эффузивных породах.

Положим теперь, что кристаллы s охлаждаются после своего образования очень медленно; пусть они поддерживаются очень долгое время в состоянии d , неустойчивом при данной температуре. Но так как последняя еще очень высока, то распадение твердого раствора может произойти довольно легко, и мы получим твердый раствор e и небольшое количество раствора, близкого энстатиту, — f . Конечно, это распадение, как было выяснено ранее, проявится при выделении очень тонких пластиночек энстатита в теле кристалла e . Такой случай пертитовых образований пироксенов можно встретить скорее всего в

Рассмотрим еще частный случай разобранного нами типа двойных систем, случай, чаще других встречающийся в природе. Положим именно, что компоненты обладают все-таки некоторой смесимостью в твердом состоянии т. е. каждый из них может растворить в себе большее или меньшее количество другого. Комбинируя таким образом свойства обоих основных типов двойных систем, мы для рассматриваемого случая можем составить диаграмму состояния, представленную на фиг. 8. Чтобы понять значение этой диаграммы, рассмотрим несколько примеров.

Пусть нам дан состав сплава xx . Когда фигуративная точка его займет положение a , начнет выделяться твердый раствор состава, определяемого точкой b . Рассуждая по предыдущему, мы найдем, что при дальнейшем охлаждении состав выделяющейся твердой фазы будет меняться от b до k , в то время как фигуративная точка жидкой фазы будет скользить по aE и, наконец, займет положение эвтектической точки E . Если охладить еще систему, то все должно перейти в твердое состояние, причем выделяется одновременно твердые растворы k и l .

Отличие этого частного случая заключается в том что первые выделения являются вообще неоднородными по своему составу и что эвтектика состоит не из чистых компонентов, а из их крайних растворов друг в друге. Необходимо еще отметить, что первые выделения могут и не получаться; действительно, если охлаждение происходит таким образом, что выделившийся в предыдущий момент твердый раствор расплавится при кристаллизации жидкой фазы в следующий момент, то от выделившихся между b и k продуктов ничего не останется, и весь сплав застынет в виде эвтектики, хотя и не будет иметь состава, отвечающего эвтектической точке.

Возьмем другой состав сплава — yy . Если охлаждение его происходит вполне равномерно, так что все промежуточные продукты растворяются, то мы получим однородные кристаллы того же состава, выделившиеся в точке c . В противном случае будем иметь первые выделения состава, меняющегося между d и l , и, конечно, эвтектику kl . Процесс еще более усложняется, если произойдет переохлаждение.

Посмотрим теперь, какое значение имеют две линии, показанные на диаграмме — именно km и ln . Из предыдущего ясно, что все точки прямой kl между крайними ее точками отвечают системам, которые в твердом состоя-

нии не могут существовать: вместо них получается смесь двух твердых растворов — эвтектика. При дальнейшем охлаждении этих систем растворимость компонентов вообще не увеличивается, и, значит, площадь, описанная прямой kl при движении ее вниз, будет отвечать нестойким системам. Но растворимость веществ с понижением температуры в громадном большинстве случаев уменьшается, поэтому площадь должна увеличиться, что выразится в расхождении прямых km и ln , ограничивающих ее с боков. Итак, всякая система Z , попадающая в пределы этой площади, должна распаться на твердые растворы α и β . Из этого можно, между прочим, вывести и такое заключение, что первичная эвтектика при дальнейшем охлаждении становится нестойкой, ибо фигуративные точки компонентов ее, скользя по ординатам kr и lq , попадут на указанную площадь; поэтому при охлаждении эвтектики все время должно происходить выделение (Entmischung) избыточного количества того или другого чистого компонента. Конечно, этот процесс в большинстве случаев проявляется крайне медленно.

Как видим, этот случай двойных систем отличается большой сложностью; поэтому применять его к петрографическим явлениям нужно с большой осторожностью. Чтобы пояснить это, возьмем для примера систему энстатит — моноклинный авгит, диаграмма которой на основании некоторых данных может быть представлена приблизительно следующим образом (фиг. 9).

Будем охлаждать сплав xx таким образом, чтобы получились однородные кристаллы состава s . Если дальнейшее охлаждение полученных кристаллов провести очень быстро, то они подвергаются своего рода закалке и чрезвычайно долго могут находиться в неустойчивом при низкой температуре состоянии. Такой случай представляется, например, в эффузивных породах.

Положим теперь, что кристаллы s охлаждаются после своего образования очень медленно; пусть они поддерживаются очень долгое время в состоянии d , неустойчивом при данной температуре. Но так как последняя еще очень высока, то распадение твердого раствора может произойти довольно легко, и мы получим твердый раствор e и небольшое количество раствора, близкого энстатиту, — f . Конечно, это распадение, как было выяснено ранее, проявится при выделении очень тонких пластиночек энстатита в теле кристалла e . Такой случай пертитовых образований пироксенов можно встретить скорее всего

Рассмотрим еще частный случай разобранного нами типа двойных систем, случай, чаще других встречающийся в природе. Положим именно, что компоненты обладают все-таки некоторой смесимостью в твердом состоянии т. е. каждый из них может растворить в себе большее или меньшее количество другого. Комбинируя таким образом свойства обоих основных типов двойных систем, мы для рассматриваемого случая можем составить диаграмму состояния, представленную на фиг. 8. Чтобы понять значение этой диаграммы, рассмотрим несколько примеров.

Пусть нам дан состав сплава xx . Когда фигуративная точка его займет положение a , начнет выделяться твердый раствор состава, определяемого точкой b . Рассуждая по предыдущему, мы найдем, что при дальнейшем охлаждении состав выделяющейся твердой фазы будет меняться от b до k , в то время как фигуративная точка жидкой фазы будет скользить по aE и, наконец, займет положение эвтектической точки E . Если охладить еще систему, то все должно перейти в твердое состояние, причем выделяется одновременно твердые растворы k и l .

Отличие этого частного случая заключается в том что первые выделения являются вообще неоднородными по своему составу и что эвтектика состоит не из чистых компонентов, а из их крайних растворов друг в друге. Необходимо еще отметить, что первые выделения могут и не получаться; действительно, если охлаждение происходит таким образом, что выделившийся в предыдущий момент твердый раствор расплавится при кристаллизации жидкой фазы в следующий момент, то от выделившихся между b и k продуктов ничего не останется, и весь сплав застынет в виде эвтектики, хотя и не будет иметь состава, отвечающего эвтектической точке.

Возьмем другой состав сплава — yy . Если охлаждение его происходит вполне равномерно, так что все промежуточные продукты растворяются, то мы получим однородные кристаллы того же состава, выделившиеся в точке c . В противном случае будем иметь первые выделения состава, меняющегося между d и l , и, конечно, эвтектику kl . Процесс еще более усложняется, если произойдет переохлаждение.

Посмотрим теперь, какое значение имеют две линии, показанные на диаграмме — именно km и ln . Из предыдущего ясно, что все точки прямой kl между крайними ее точками отвечают системам, которые в твердом состоя-

нии не могут существовать: вместо них получается смесь двух твердых растворов — эвтектика. При дальнейшем охлаждении этих систем растворимость компонентов вообще не увеличивается, и, значит, площадь, описанная прямой kl при движении ее вниз, будет отвечать нестойким системам. Но растворимость веществ с понижением температуры в громадном большинстве случаев уменьшается, поэтому площадь должна увеличиться, что выразится в расхождении прямых km и ln , ограничивающих ее с боков. Итак, всякая система Z , попадающая в пределы этой площади, должна распасться на твердые растворы α и β . Из этого можно, между прочим, вывести и такое заключение, что первичная эвтектика при дальнейшем охлаждении становится нестойкой, ибо фигуративные точки компонентов ее, скользя по ординатам kr и lq , попадут на указанную площадь; поэтому при охлаждении эвтектики все время должно происходить выделение (Entmischung) избыточного количества того или другого чистого компонента. Конечно, этот процесс в большинстве случаев проявляется крайне медленно.

Как видим, этот случай двойных систем отличается большой сложностью; поэтому применять его к петрографическим явлениям нужно с большой осторожностью. Чтобы пояснить это, возьмем для примера систему энстатит — моноклинный авгит, диаграмма которой на основании некоторых данных может быть представлена приблизительно следующим образом (фиг. 9).

Будем охлаждать сплав xx таким образом, чтобы получились однородные кристаллы состава c . Если дальнейшее охлаждение полученных кристаллов провести очень быстро, то они подвергаются своего рода закалке и чрезвычайно долго могут находиться в неустойчивом при низкой температуре состоянии. Такой случай представляется, например, в эффузивных породах.

Положим теперь, что кристаллы c охлаждаются после своего образования очень медленно; пусть они поддерживаются очень долгое время в состоянии d , неустойчивом при данной температуре. Но так как последняя еще очень высока, то распадение твердого раствора может произойти довольно легко, и мы получим твердый раствор e и небольшое количество раствора, близкого энстатиту, — f . Конечно, это распадение, как было выяснено ранее, проявится при выделении очень тонких пластиночек энстатита в теле кристалла e . Такой случай пертитовых образований пироксенов можно встретить скорее всего в

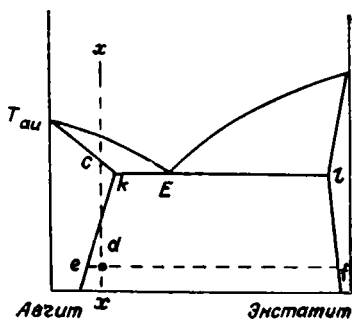
интрузивных породах, что, действительно, и наблюдается в некоторых габбро.

Явление еще более усложнится, если при кристаллизации сплава получатся не однородные образования, а зонарные кристаллы; тогда мы придем к выделениям и эвтектике, которая при дальнейшем охлаждении, в свою очередь, может подвергнуться распаду.

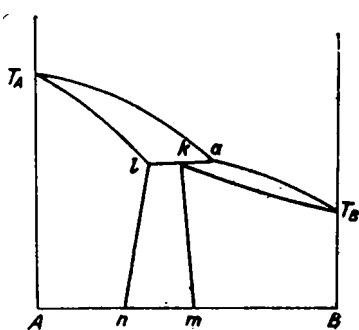
С. Остановимся еще на одном возможном типе двойных систем — типе, встречающемся и довольно часто, но не имеющем того значения, что первые два. Диаграмма состояний такой системы представлена фиг. 10. Компоненты этой системы обладают почти полной смесимостью в твердом состоянии, так что самая система приближается к первому типу. В ней имеется лишь более или менее незначительный перерыв, аналогичный перерыву в предыдущем разобранным нами случае. Сюда относятся компоненты, имеющие более или менее одинаковое молекулярное строение, т. е. способные образовать растворы и в твердом состоянии, но принадлежащие к различным модификациям. Последние называются обычно изоморфными.

Как пользоваться этой диаграммой в каждом частном случае, понятно из всего того, что было сказано при рассмотрении предыдущих типов систем. Нужно лишь сказать, что влияние перерыва на выделяющиеся продукты может проявиться лишь для смесей, точки состояния которых находятся в левой части диаграммы. Сплавы, лежащие вправо от точки перелома *a*, застывают только как твердые растворы.

Нет сомнения, что к данному типу принадлежат многие породообразующие минералы, но установить это вви-



Фиг. 9.



Фиг. 10.

ду промежуточного положения самого типа одними лишь петрографическими методами почти невозможно.

Таковы основные диаграммы состояния двойных систем. Нужно прибавить, что последние часто являются более сложными, именно, если конечные члены ряда образуют одну или несколько двойных солей, которые представляют соединения того же порядка, что и конечные компоненты системы. В зависимости от того, в каком отношении к последним и друг к другу находятся эти соединения и каково их число, диаграммы состояния имеют очень различный вид; кроме того, некоторые соединения могут существовать лишь в твердом растворе, а не самостоятельно.

III

Итак, мы рассмотрели различные случаи гетерогенного равновесия в двойных системах, причем влияния одного из элементов всякой физической системы — именно давления — не принимали во внимание. Как было сказано выше, прямое влияние этого фактора в силикатных сплавах вообще невелико, поэтому игнорирование давления почти не отзывается на схеме всех произведенных построений. Последние были сделаны собственно для случая перехода системы из жидкого состояния в твердое, применительно к условиям образования горных пород. Но те же самые законы — *mutatis mutandis* — вполне применимы для всяких других случаев перехода системы из одного кристаллического состояния в другое.

Нетрудно видеть, что при всей сложности явлений, возникающих при изменении состояния системы, для петрографии особенно важное значение имеют закон образования твердых растворов и закон эвтектики.

Действительно, эти законы регулируют, вообще говоря, порядок выделения и состав выделяющихся компонентов горных пород, а это обстоятельство и является наиболее существенным для характеристики последних. Конечно, такие факторы, как скорость охлаждения, скорость кристаллизации отдельных компонентов, перенасыщение растворов, присутствие летучих веществ и т. д., сильно влияют на структуру и даже порядок выделения в образующих породах, но все это относится до некоторой степени к случайным явлениям и не может подорвать общего значения выведенных главных законов.

Сравнительно редкие горные породы состоят лишь из двух компонентов; обыкновенно они имеют более сложный

состав. Поэтому нам нужно бы рассмотреть условия гетерогенного равновесия в тройных и более сложных системах. Нельзя не заметить, что теоретическая разработка таких систем сопряжена с громадными затруднениями и едва ли непосредственно может быть выполнена. По крайней мере, графический метод, столь важный и даже, можно сказать, необходимый при подобного рода исследованиях, неприложим для комплексных систем, если их рассматривать в целом. Ввиду этого приходится изучать подобные системы пока по частям, комбинируя компоненты их по два или в крайнем случае по три. Конечно, взаимное отношение таких частных систем остается при этом вообще невыясненным, но исследования доступных еще подробной и полной разработке тройных систем и аналогия позволяют нам заключить, что общие законы, выведенные для двойных систем, вполне пригодны и для сложных и что ход явлений в частных системах является почти одним и тем же, существуют ли последние самостоятельно или входят в состав комплексных образований. Возьмем пример. Выше был разобран характер системы альбит — анортит. Оказывается, образование плагиоклазов подчиняется тем же законам даже в очень сложных горных породах, если только и альбит и анортит не вступают в обменное разложение или в твердый раствор с какими-нибудь другими компонентами, например с нефелином.

Наибольшие затруднения вытекают при определении эвтектики сложных пород, так как она должна состоять почти из всех компонентов последних и вследствие выясненных выше причин очень редко имеет характерную структуру. Между тем знание эвтектического состава магмы необходимо для того, чтобы можно было разобраться в значении тех или других особенностей порядка выделения и проявления порообразующих минералов. Поэтому установление эвтектического состава для различных комплексных систем является одной из неотложных задач современной петрографии. К сожалению, в этом отношении сделано еще очень мало, и, пожалуй, только для системы кварц — ортоклаз — плагиоклаз мы приблизительно знаем состав эвтектики.

Применение законов физикохимии к изучению отдельных горных пород позволяет нам по порядку выделения и первичным формам проявления порообразующих минералов определить условия образования этих пород; кроме того, мы получаем могущественное и, пожалуй, единственное средство выяснения условий последующей жиз-

ни пород именно путем наблюдения результатов перехода компонентов из одной кристаллической модификации в другую.

Этими законами можно воспользоваться для решения еще одной чрезвычайно важной проблемы петрогенезиса, касающейся дифференциации магмы. В настоящее время существует научная уверенность в том, что магмы пород различного состава связаны между собой, образовавшись из одной или нескольких магм путем разделения последних на части. Как происходит это расщепление и по каким законам — об этом существует много теорий, построенных на различных гипотезах, часто исключающих друг друга. Принявши в основу всю ту же нашу гипотезу, а именно что магма представляет огненно-жидкий раствор, мы можем дифференциацию магмы понимать следующим образом. Если, действительно, магма есть совершенный раствор, в котором явлениям, подобным ликвации, не может быть места, то дифференциация магмы, или расщепление ее на части различного состава, должна быть следствием ее кристаллизации, т. е. отделяются уже твердые фазы по закону удельных весов. Как потом эти отделившиеся части снова переходят в жидкое состояние и нужно ли, чтобы все продукты дифференциации испытали промежуточное растворение, — это уже вопросы второстепенные и во всяком случае какого-либо затруднения не представляющие. Но если даже дифференциация происходит в жидком виде, все же целый ряд фактов говорит за то, что отделившиеся части по своим стехиометрическим отношениям должны быть аналогичны тем минералам, которые выделились бы из магмы при ее кристаллизации.

Отсюда следует, что дифференциация есть явление того же порядка, что и кристаллизация, и подчиняется тем же законам. Иначе говоря, при дифференциации магмы отделяться будут те соединения, которые образуют первые выделения при кристаллизации этой магмы. Таким образом, после первого фазиса дифференциации мы получим две магмы — одну, состоящую из продуктов первых выделений, и другую, представляющую остаток от этого отделения. В следующий фазис каждая из этих магм может подвергнуться дальнейшему расщеплению, и мы получим четыре магмы и т. д. Спрашивается теперь, какой состав получают эти вторичные магмы и как далеко может пойти эта самая дифференциация?

Пользуясь вышеуказанными законами, мы можем сказать прежде всего, что оставшиеся части дифференциро-

ванной магмы будут подвергаться дальнейшему расщеплению лишь до тех пор, пока не получат состава эвтектики, потому что тогда все составные части их станут выделяться одновременно и причина дальнейшего расщепления исчезнет.

Таким образом, на одном полюсе дифференциации получают смеси эвтектического состава. Такими образованиями являются, например, граниты, представляющие более или менее чистую эвтектику из кварца, ортоклаза и плагиоклазов. Так как эти породы слагают громадные массивы и пользуются особенно значительным распространением в доступной нашему исследованию части земной коры, то, значит, дифференциация первичных магм вообще продвинулась уже далеко. Привести примеры других пород эвтектического состава пока нельзя, потому что, как было замечено выше, эвтектика для сложных систем еще не изучена. Вперед можно сказать, что, благодаря целому ряду привходящих обстоятельств, едва ли существуют вполне чистые эвтектические породы. И. Фогт предложил такие породы называть анхи (т. е. почти)-эвтектическими.

Вторичные магмы другого полюса состоят из первых выделений первичной магмы. Если эти выделения были представлены одним минералом, то и отделившаяся магма при кристаллизации даст мономинеральную породу. Если первые выделения состояли из нескольких минералов, то первая производная магма является еще довольно сложной, но при дальнейшей дифференциации из нее опять-таки получатся мономинеральные образования. Конечно, и в этом случае трудно ожидать пород, состоящих исключительно из одного минерала. К таким породам, названным И. Фогтом анхи-мономинеральными, принадлежат, например, перидотиты и пироксениты, дающие змеевики, горнблендиты, анортозиты, некоторые рудные скопления и т. п., пользующиеся также, как и анхи-эвтектические породы, большим распространением.

Все остальные породы, согласно этой теории, представляют результат неполной дифференциации первичной магмы или смешанные так называемые гибридные образования. Существуют ли где-нибудь представители первичной магмы — этого сказать пока невозможно.

Мы рассмотрели процесс дифференциации магмы с точки зрения закона эвтектики. Применим теперь к этому вопросу закон образования изоморфных кристаллов. Для удобства возьмем частный пример и посмотрим, как от-

носится к дифференциации ряд плагноклазов. Как было показано выше, в начале кристаллизации выделяются плагноклазы, более богатые анортитом. Отсюда ясно, что в продуктах дифференциации, отклоняющихся в сторону мономинеральных образований, основность плагноклазов должна возрастать, а в эвтектических смесях получатся более или менее кислые разности этих минералов. Как и в предыдущих случаях, чистые крайние члены плагноклазового ряда будут встречаться сравнительно редко. С этой точки зрения становится понятным, почему мономинеральные полевошпатовые породы представлены преимущественно анортозитами, состоящими собственно большею частью из лабрадора, а в типичных эвтектических образованиях — гранитах чаще всего встречается олигоклаз.

Аналогичным путем можно объяснить различный характер проявления и других минералов в дифференцированных породах.

Итак, применение законов физикохимии позволяет очень просто объяснить сложные явления дифференциации магмы и найти генетическую связь между изверженными горными породами, что имеет большой не только теоретический, но и практический интерес. Несомненно также, что лишь под эгидой этих законов удастся найти надлежащее основание для построения рациональной классификации горных пород, в чем давно уже чувствуется настоятельная необходимость.

Сказанным можно ограничиться о применимости и значении физико-химических законов петрографии. Остается еще выяснить, возможно ли эти законы подвергнуть опытной проверке, в какой форме это уже выполняется и в какой стадии находятся опытные исследования в этой области.

Необходимость проверки указанных законов вполне очевидна. Ведь, применяя их к петрографическим проблемам, мы основываемся на гипотезе, что изверженные горные породы образовались из магмы, которая представляет огненно-жидкий раствор, подчиняющийся обычным физико-химическим законам. Правда, применение последних чрезвычайно удачно объясняет все явления, представляющиеся при изучении горных пород, но то же бывает по выработке почти каждой более или менее остроумной гипотезы. Поэтому большой уверенности в правильности делаемых выводов у нас не может быть.

Главный источник сомнений, возникающих при пользовании указанной гипотезой, заключается в следующем. Мы собственно совсем не знаем, насколько огненно-жидкие растворы близки по своим свойствам тем водным растворам, при изучении которых физикохимия и выработала свои основные законы. Нам, например, достоверно неизвестно, диссоциированы ли хотя бы в незначительной степени эти огненно-жидкие растворы, какой вообще состав имеют молекулы последних, какое влияние на свойства этих растворов, например вязкость, оказывает присутствие различных окислов и т. п. Но если бы даже не было сомнений в тождественности свойств тех и других растворов, все-таки наши объяснения различных явлений будут недостаточными, а иногда и неверными, потому что мы не знаем, как ведут себя компоненты горных пород при образовании последних, каков даже состав некоторых из этих компонентов и т. п.

Единственный путь к выяснению всех этих неясностей и, значит, к приобретению полнейшей уверенности в целесообразности применения законов физикохимии к петрографии есть путь эксперимента. Необходимо опытным путем исследовать свойства огненно-жидких растворов и поверить законы гетерогенного равновесия в различных системах, компоненты которых встречаются в горных породах, одним словом, перенести методы физико-химических исследований в область высоких температур и силикатных сплавов. С теоретической точки зрения эта задача является вполне осуществимой, но на практике она встречает порой громадные, иногда кажущиеся непреодолимыми, затруднения.

Действительно, необходимо получать высокие температуры и уметь их точно определять; надо приготовить такие печи, материал которых не вступал бы в реакции с исследуемым веществом; иногда приходится вести плавку при больших давлениях, чтобы удержать в растворе некоторые летучие вещества, так называемые минерализаторы, необходимые для получения таких минералов, как кислые полевые шпаты, амфиболы и т. д.

Вообще технические условия такой работы являются чрезвычайно трудными, но эти трудности, надо верить, окажутся не непреодолимыми. Уже в настоящее время кое-что сделано, несмотря на то что правильно организованная работа в данном направлении не насчитывает за собой и десяти лет. Многие петрографические и минералогические кабинеты высших учебных заведений обзаво-

дятся специальными лабораториями для производства пирогенетических исследований (в России такая лаборатория имеется при Спб. Политехническом институте); в США Геофизический институт Карнеджи в настоящее время занят главным образом экспериментальными исследованиями в области петрографии, и работы этого института, поставленные на вполне научной основе и не стесняющиеся в материальных средствах, дают блестящие результаты.

Вполне понятно, что первые главные шаги в деле экспериментального исследования силикатных сплавов сделали петрографы, и, надо думать, руководящая роль останется за ними, потому что только они могут находить все новые темы для таких работ. Но петрографы находят себе надежных союзников в лице физико-химиков, уже приступающих к исследованиям огненно-жидких растворов, и особенно металлургов, дающих методы пирогенетического изучения силикатных сплавов, которые в виде шлаков играют большую роль в металлургических процессах.

Соединенными усилиями теперь уже почти удалось преодолеть многие технические трудности подобных исследований; например, температуры до 1600°C можно определить почти с одинаковой степенью точности. Уже исследовано много двойных систем, компонентами которых являются преимущественно главные окислы, входящие в состав горных пород, и некоторые порообразующие минералы; стали переходить к обработке и тройных систем. Конечно, это еще немного; большое количество труда придется еще приложить, чтобы найти, например, состав комплексных эвтектик или установить условия существования всех возможных полиморфных модификаций порообразующих минералов, но первые опыты показали, что мы стали на правильный путь в деле изучения горных пород. Нужно надеяться, что недалеко уже то время, когда тайна образования последних вполне раскроется перед нами и петрография окончательно вступит в новую стадию своего развития.

ЛИТЕРАТУРА

- Оствальд В. Основания теоретической химии, 1902.
Левинсон-Лессинг Ф., Жемчужный С. Порфириновое строение и эвтектика. — Изв. Спб. политехн. ин-та, 1906, т. 5, с. 207—216.
Бруни К. Твердые растворы. 1909.
Чирвинский П. Количественный минералогический и химический состав гранитов и грейзенов. 1914.

- Гинзберг А.** Об уральском рапакивиобразном граните.— Изв. Спб. политехн. ин-та, 1911, т. 15, с. 187—228.
- Жемчужный С. Ф., Лебедев П. И.** Обзор работ по термическому и микроскопическому анализу силикатов и солей, произведенных в лабораториях Минералогии и Общей химии с 1906—1912 гг.— Изв. Спб. политехн. ин-та, 1912, т. 18, с. 225—254.
- Backhuis Roozeboom H.** Erstarrungspunkte der Michkristalle zweier Stoffe.— Z. phys. Chem., 1899, Bd 30, S. 385—412.
- Tammann G.** Kristallisieren und Schmelzen. 1903.
- Backhuis Roozeboom H.** Die heterogene Gleichgewichte vov Standpunkte der Phasenlehre II, 1904.
- Vogt J.** Die Silikatschmelzlösungen I und II. 1904.
- Doelter C.** Physikalisch-chemische Mineralogie. 1905.
- Day A., Allen E.** Isomorphism and thermal properties of feldspars.— Amer. J. Sci., 1905, v. 19, p. 93—142.
- Vogt J.** Physikalisch-chemische Gesetze der Kristallisationsfolge in Eruptivgesteinen.— Tscherm. Mineral. und Petrogr. Mitt. 1906, Bd 24, S. 437; 1906, Bd 25, S. 362; 1908, Bd 27, S. 105.
- Allen E., Wright F., Clement J.** Minerals of the composition $MgSiO_3$; a case of tetramorphism.— Am. J. Sci., 1906, v. 22, p. 385.
- Day A., Allen E. etc.** Die Kalkkieselreihe der Minerale.— Tscherm. Mineral. und Petrogr. Mitt., 1907, Bd. 26, S. 169—232.
- Rinne F., Boeke H.** Ueber Thermometamorphose und Sammelkristallisation.— Tscherm. Mineral. und Petrogr. Mitt., 1908, Bd 27, S. 393.
- Vogt J.** Ueber anchi-eutektische und anchi-monomineralische Eruptivgesteine. 1908.
- Wright F., Larsen E.** Quartz as a geological Thermometer.— Amer. J. Sci., 1909, v. 27, p. 421—447.
- Rinne F.** Durch Entgasung bewirkte Kristallisationen in Schmelzflüssen.— Neues Jahr., 1909, Bd 11, S. 129—139.
- Allen E., White W.** Diopside and its relations to calcium and magnesium metasilicates.— Amer. J. Sci., 1909, v. 27, p. 1—47.
- White W.** Schmelzpunktsbestimmungen bei hohen Temperaturen.— Z. anorgan. Chem., 1910, Bd 69, S. 331.
- Marc R.** Vorlesungen über die chemische Gleichgewichtlehre und ihre anwendung auf die Probleme der Mineralogie, Petrographie und Geologie. Jena, 1911.
- Idem.** Die Phasenregel und ihre Anwendung auf mineralogische Fragen.— Fortschr. Mineral. Kristallog. und Petrogr., 1911, Bd 1, S. 99—128.
- Gole G., Little O.** The mineral condition of calcium carbonate in fossil shells.— Geol. Magaz., 1911, v. 8, p. 49—54.
- Rinne F.** Salzpetrographie und Metallographie in Dienste der Eruptivgesteinskunde.— Fortschr. Mineral Kristallogr. und Petrogr., 1911, Bd 1, S. 181—220.
- Milch L.** Die primären Strukturen und Texturen der Eruptivgesteine.— Ibidem, 1912, Bd. 2, S. 163—207.
- Bowen N.** The binary system $Na_2Al_2Si_2O_8$ (nepheline, carnegieit)— $CaAl_2Si_2O_8$ (anorthite).— Amer. J. Sci., 1912, v. 33, p. 551—573.
- Marc R.** Referat über die bis zum Jahre 1911 aus dem Geophysical Laboratory, Carnegie — Institution in Washington, hervorgegangenen Arbeiten.— Z. Elektrochem., 1912, Bd 18, S. 2—13.
- Niggli P.** Die Gase in Magma.— Centralblatt Mineralog. etc., 1912, S. 321—338.

*ПРИМЕЧАНИЕ К СТАТЬЕ М. А. УСОВА
«ЗАКОНЫ ФИЗИКОХИМИИ В ПРИМЕНЕНИИ
К ПЕТРОГРАФИИ»*

Данная работа М. А. Усова была опубликована в «Журнале общества сибирских инженеров» за 1913 г. в № 2—3. Тогда же она была выпущена отдельной брошюрой. С тех пор статья ни разу не переиздавалась, хотя и для более позднего времени являлась непревзойденным по ясности изложения введением в сложную проблему физико-химического анализа магмо- и порообразующих процессов. Известное руководство по физико-химическим основам изверженных пород А. Н. Заварицкого, во второй части которого трактовались физико-химические явления, связанные с кристаллизацией магмы, появилось лишь в 1926 г. Предлагаемый современному читателю петрологический очерк еще молодого ученого явился итогом исследований, проведенных им под руководством Ф. Ю. Левинсона-Лессинга и Н. С. Курнакова во время его командировки в 1911 г. в Петербург по заданию В. А. Обручева.

Будучи в физико-химическом анализе приверженцем идей Д. И. Менделеева, Д. П. Коновалова и Н. С. Курнакова, он отчетливо сознавал, что не существует никакой проблемы выделения из расплавов (с любыми, в том числе нестехиометрическими, соотношениями составляющих компонентов) кристаллических фаз, химически определенного или неопределенного состава. Видимое противоречие тут разрешается путем образования твердых растворов, а также посредством эвтектической кристаллизации. М. А. Усов понимал природные расплавы как конденсированные фазы, порообразующие окислы которых, состоящие в каких угодно пропорциях, совершенно и полностью взаимно растворимы. Они суть специфические состояния вещества — соединения переменного состава. При остывании таких расплавов-растворов отмеченная взаимная растворимость уменьшается, благодаря чему часть компонентов обособляется в форме стехиометрических или нестехиометрических кристаллофаз. Вслед за своим наставником Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом М. А. Усов дает здесь образец использования учения о подвижном равновесии для воспроизведения стадийности становления интрузивных масс и при расшифровке генезиса структур реальных полнокристаллических магматических образований,

В перепечатаваемой работе автор вслед за другими специалистами проводит мысль, что именно механизм фракционирования (как обеспечивающий широкий спектр составов остаточных жидкостей) объясняет наблюдаемую в природе комплементарность изверженных пород. Такого взгляда многие петрологи придерживаются поныне. Однако позже, уже в советское время, М. А. Усов, которого всю жизнь глубоко интересовали проблемы магматической геологии, высказался за признание полифилетичности магматических расплавов, даже генерирующихся из единого субстрата. Являясь высокообразованным и тонким диалектиком, он сознавал возможность совершенно противоположного решения вопроса о наблюдаемых вариациях состава пород, а именно по способу фракционного плавления полиминеральных субстратов. Подобно явлению кристаллизации, эффект плавления может быть растянут во времени, т. е. может совершаться неодномоментно и протекать неполно.

Быть может, этой знаменательной перемене воззрения способствовали последующие разносторонние исследования М. А. Усовым вулканических образований, у которых комплементарные тенденции проявляются в отсутствие кристалличности вообще, что с учетом динамических условий их извержения плохо согласуется с гипотезой фракционной природы следующих друг за другом излияний. Кроме того, фракционное происхождение, предполагаемое для анхи-мономинеральных пород (то чисто пироксеновых, то полевошпатовых), также уязвимо для критики, так как требует для своего обоснования еще одного допущения — создания условий вторичного переплавления. Его необходимо предположить, чтобы объяснить перемещение интрузивных масс от места генерации к месту их залегания.

Представляя расплавы как сольваты, М. А. Усов справедливо сомневался в существенном значении ликвации как факторе, обеспечивающем разнообразие состава изверженных горных пород. Учитывая, что алюмосиликатные расплавы представляют собой универсальные растворы, здесь можно, скорее, ожидать развития явлений смешения магм и максимальной их гомогенизации. М. А. Усов также допускал возможность влияния на химизм расплавов разного рода флюидов. В решении принципиального вопроса — является ли минеральный состав интрузивных пород функцией химизма магмы, или он управляется чисто физическими параметрами, он принял в конечном счете сторону Ф. Ю. Левинсона-Лессинга.

После знакомства с этим ранним произведением М. А. Усова читатель несомненно испытает большое удовлетворение. Причина этого кроется в продемонстрированной здесь соразмерности широты, полноты и глубины охвата затронутой темы, в гармонии строгой и изящной мысли, что облегчает восприятие важного и непростого для понимания материала. За всем этим стоит непрестанный, напряженный, отвечающий высшим требованиям завершенности творческий интеллектуальный труд автора, его беззаветное служение научной истине.

В. П. Ковалев

Г. В. Пинус

ВКЛАД М. А. УСОВА В РАЗВИТИЕ МАГМАТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Научное наследие М. А. Усова огромно. Оно охватывает почти все области геологической науки от учения о рудных месторождениях до геоморфологии, от стратиграфии и тектоники до теории саморазвития материи Земли. Немалый вклад внесли его работы в развитие магматической геологии, познанию которой он и уделял большое внимание на протяжении всей своей научной деятельности. Еще будучи стипендиатом Томского технологического института, в 1910 г. он опубликовал первую работу, посвященную методике петрографических исследований, — «Федоровский, или универсально-оптический, метод исследования породообразующих минералов, в особенности полевых шпатов» [Усов, 1910], а в следующем году — второй том «Пограничной Джунгарии» [Усов, 1911], в котором дано описание горных пород в то время совершенно не изученного обширного района нашей страны. Автором первого тома «Пограничной Джунгарии», где приведены сведения о геологической истории этого края, был учитель М. А. Усова — В. А. Обручев. Оба тома этой монографии являются научным отчетом о путешествиях, совершенных учеными в 1905, 1906 и 1909 г.

Первая из упомянутых работ является, по существу, и первым систематическим руководством по применению федоровского метода, открывшим перед петрографами

в те далекие времена возможность устанавливать оптические константы породообразующих минералов и тем самым производить точную диагностику их, а в ряде случаев устанавливать химический состав минералов, не прибегая к трудоемкому химическому анализу последних.

Этот труд не является только подробным пересказом общих основ метода и приемов его применения, но, как это характерно для работ Михаила Антоновича, существенно дополнен оригинальными разработками, в частности путем расширения федоровской двойниковой диаграммы при определении плагиоклазов и построения особой диаграммы, применяемой при исследовании калина-тровых полевых шпатов и т. д.

Во втором томе монографии «Пограничная Джунгария» ее автор привел детальное описание коллекции горных пород, насчитывающей более 7000 образцов. Это фундаментальное исследование не потеряло своего значения и в настоящее время. Геологи, работающие в районах Джунгарского Алатау, повседневно пользуются прекрасно выполненной характеристикой разнообразнейших пород данного района. М. А. Усов не ограничился формальным описанием петрографических разновидностей пород. Будучи непосредственным участником исследовательского коллектива, изучавшего геологическое строение Джунгарии, он много внимания уделяет распространению отдельных классов горных пород, взаимоотношению их друг с другом. Отмечает структурные особенности пород; приводит данные об их химическом составе, последующих изменениях и относительном возрасте. Обсуждаются в этой работе и некоторые общие вопросы петрологии, в том числе такие, как возможность происхождения ряда пород в результате смешения различных по основности магм. Надо отметить, что спустя 70 лет после опубликования этого труда проблема смешения магм вновь начала привлекать к себе внимание петрологов. В то время М. А. Усов признавал наличие в природе только двух магм — гранитной и базальтовой. Происхождение большого числа разновидностей магматических пород он объяснял дифференциацией или смешением этих магм. Позднее он пришел к иным выводам. Тщательно анализируя всю сумму фактов, полученных при изучении взаимоотношений различных пород, он заключил, что в Джунгарии можно выделить два главных периода магматической активности, во время которых формировалась основная масса изверженных горных пород. Первый из них охва-

тывает бóльшую часть второй половины палеозойской эры, когда происходило становление преимущественно продуктов основного по составу магматизма; во время второго, датируемого пермо-карбоном, формировались, главным образом, гранитоидные интрузии.

В первые годы научной деятельности М. А. Усова экспериментальные исследования в области минералогии и петрографии еще не получили широкого распространения. В это время только начинались эксперименты по синтезу минералов, состоящих из трех компонентов. Далеко не все и двойные системы метасиликатов были к тому времени исследованы. В частности, очень важный в петрографическом отношении метасиликат железа практически тогда еще не был изучен. По рекомендации Ф. Ю. Левинсона-Лессинга М. А. Усов частично восполняет этот пробел и в 1913 г. публикует результаты своих работ в этой области [Усов, 1913а]. Им было установлено, что чисто марганцевый метасиликат кристаллизуется в триклинной системе, однако даже при небольшой примеси железистого метасиликата кристаллическая система изменяется на моноклинную. Второй конечный член ряда — железистый метасиликат — кристаллизуется в ромбической системе и в отличие от марганцевого метасиликата удерживает последнюю при довольно значительном содержании окиси марганца. Опыты по плавлению шихты с различным соотношением метасиликатов марганца и железа позволили исследователю построить диаграмму состояния минералов этого ряда. Что касается приложения результатов исследования системы метасиликатов марганца и железа в чисто петрографических целях, то было установлено, что эти элементы замещают друг друга без заметного изменения главных оптических свойств пироксенов.

В том же 1913 г. выходит в свет еще одна работа М. А. Усова, где обсуждается вопрос о применении законов физикохимии в петрографии [Усов, 1913б]. На конкретных примерах он показал, как с помощью применения этих законов можно просто и убедительно объяснить сложные явления дифференциации магмы и определить генетические связи между различными изверженными горными породами. Следует не забывать, что эта публикация появилась в далеком от столичных центров городе Томске в то время, когда подобного типа исследования делали первые шаги не только у нас в стране, но и в таких специализированных учреждениях, как геофизический институт Карнеги в США.

Спустя 11 лет, в течение которых научная деятельность М. А. Усова была направлена в основном на познание геологии и тектоники Кузнецкого каменноугольного бассейна и рудных месторождений Западной Сибири, он снова обращается к общим вопросам магматической геологии. Уже будучи профессором Томского технологического института и директором организованного при его активном участии Сибирского геологического комитета, он издает две монографии, посвященные фундаментальным вопросам петрологии. Имеются в виду его классические работы о фациях и фазах магматических пород [Усов, 1924, 1925].

В работе «Фазы эффузивов» он показал, что «эффузивные породы по самому своему происхождению представляют метастабильные образования, которые с течением времени и под влиянием различных других факторов приспособляются к новым условиям путем изменения фаз своих компонентов...» [Усов, 1924, с. 8], а в «Фации и фазы интрузивов» с тех же позиций исследованы интрузивные горные породы [Усов, 1925].

Фация магматических пород, по представлению ученого, характеризует конкретную геологическую обстановку, в частности физико-химические и термодинамические условия среды при внедрении магмы, в то время как фазы характеризуют условия существования пород уже в качестве сформировавшихся геологических тел.

На основании исследования характера и последовательности перерождений отдельных компонентов эффузивных пород он подразделил фации на три фазы — первичную, диагенезированную и зеленокаменную, дав подробнейшую характеристику каждой из них. В более поздней статье на ту же тему М. А. Усов развил и уточнил свои представления в этой области [Усов, 1935]. В частности, было подчеркнуто, что в различных условиях становления одна и та же эффузивная порода получает различную форму своего минерального выражения. С этих позиций им было выделено пять фаций эффузивных пород: силлово-лакколитовая, экструзивная, дайковая, жерловая и штоковая, каждой из которых присущи специфические морфологические и петрографические признаки. При этом М. А. Усов обращал особое внимание на связь между фациями эффузивных пород и говорил, что изучать их раздельно невозможно.

В годы, когда была опубликована работа о фациях и фазах интрузивов, вопрос о связи состава интрузивов

с условиями их образования был разработан очень слабо. Многие петрографы вообще сомневались в возможности использовать такие признаки, как структуру, текстуру, минеральный состав и другие свойства пород для установления, на какой глубине образовалось интрузивное тело и какой величиной и формой оно обладает. Глубоко убежденный в том, что свойства интрузивных пород зависят от физико-химических условий кристаллизации магмы, т. е. от геологической обстановки, в которой протекает силикатного расплава кристаллизация, ученый считал поставленную задачу выполнимой и блестяще доказал это в своей работе о фациях и фазах интрузивов [Усов, 1932]. Он обосновал выделение абиссальной, гипабиссальной фаций и субфации средних глубин, для определения каждой из которых детально разобрал характеризующие их особенности минерального состава, структуры и текстуры интрузивных пород и свойственные им проявления контактового метаморфизма вмещающих отложений. В интрузивных фациях он выделил две фазы — первичную и диагенезированную.

Выделение фаций и фаз, как полагал М. А. Усов, имеет большое научное и практическое значение, поскольку в особенностях их отражаются условия образования и направленности последующих изменений магматических пород. Он неоднократно подчеркивал, что горная порода является историко-геологическим телом, поэтому при ее изучении ведущим должен быть геологический метод. Исходя из этого, он считал, что классификация магматических пород должна учитывать всю совокупность свойств этих образований: химический и минеральный составы, структурные особенности, условия и формы залегания и особенно способ происхождения пород. Руководствуясь этими принципами, М. А. Усов разработал оригинальные классификации эффузивных и интрузивных пород, опубликованные в упомянутых выше работах.

Придавая основополагающее значение учению о фациях, М. А. Усов в одной из своих более поздних статей вновь возвращается к этому вопросу [Усов, 1945]. В ней он обсуждает вопрос об отношениях между фациями и формациями магматических пород. В его представлении, магматическая формация есть совокупность магматических пород, образовавшихся в течение одного магматического цикла. Он считал также, что магматические формации обычно состоят из одной преобладающей фации.

Развивая идеи М. А. Усова, его ученик, впоследствии

академик Ю. А. Кузнецов продолжил работу по исследованию фаций и фаз магматических пород. Результаты своего изучения он опубликовал в 1949 г. в трудах Горно-геологического института Западно-Сибирского филиала АН СССР. Учитывая большое количество переменных факторов, определяющих фациальный облик магматических пород, Ю. А. Кузнецов обосновал выделение пяти фаций глубинности и внутри каждой из них ряда субфаций, которые отражают форму тела и особенности их залегания. Все эти данные он положил в основу предложенной им новой классификации магматических пород.

Одно из первых определений магматической формации, принадлежащее перу академика М. А. Усова, явилось толчком к появлению учения о магматических формациях, основоположником которого в дальнейшем явился Ю. А. Кузнецов.

В 1930 г. после реорганизации геологической службы страны в Томске было организовано Западно-Сибирское районное геолого-разведочное управление, развернувшее широкие геолого-съёмочные, поисковые и разведочные работы. Со дня организации производственной геологической службы в Сибири М. А. Усов являлся ее научным консультантом, что позволило ему не только быть в курсе огромного нового фактического материала, но и анализировать и обобщать его. В 1936 г. он публикует крупную монографическую работу «Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края», в которой приводит систематическое описание 54 геологических формаций, развитых на территории региона, и на базе их выделяет 11 типичных интрузивных циклов. Характеризуя последние, он делает вывод, что интрузивная деятельность является одним из узловых моментов непрерывно-прерывистого процесса развития магматизма, который проходит по спирали и отражает в целом этапы саморазвития материи Земли. В этой работе ученый высказал предположение, что каждая фаза тектогенеза характеризовалась специфическими движениями и в одинаковых физико-географических условиях приводила к рождению примерно одинаковой магмы. Опираясь на накопленные к тому времени фактические данные по геологии Западно-Сибирского края, он построил тектоническую диаграмму для этой обширной территории. Анализ складчато-волновых движений в регионе, нашедших свое выражение на диаграмме, привел его к выводу о том, что интрузивные фазы приурочиваются к волнам поднятия, тогда как эффузивные —

к изгибам опускания. Он пропагандировал идею, согласно которой интрузии являются результатом особых фаз тектогенеза, отражающих этапы расширения геоида. В то же время он подчеркивал, что они могут как следовать, так и не следовать за фазой складчатости. В этой же работе он наметил связи выявленных к тому времени различных полезных ископаемых с наиболее характерными типами интрузивных и эффузивных образований.

Развивая эти идеи, М. А. Усов в 1937 г. в статье о траптовых формациях Кузбасса детально анализирует состав эффузивных формаций Кузнецкого угленосного бассейна. Здесь им выделяется три разновозрастные траптовые формации: среднедевонская, представленная так называемыми палатинитами, верхнепалеозойская, состоящая из эссекситовых диабазов, и мезозойская, породы которой представлены базальтами. Подчеркивая индивидуальные черты каждой из выделенных формаций траптов, он еще раз обращает внимание читателя на то, что каждая эпоха жизни Земли характеризуется особым комплексом образований. Опираясь на материалы по траппам Кузбасса, М. А. Усов высказал предположение, что и среди обширных полей траптов Тунгусского бассейна существует не одна, как тогда считали, а несколько траптовых формаций. Высказанное положение он подкрепил данными, взятыми из ранее опубликованных работ других исследователей. Как известно, последующее изучение траптов Тунгусской провинции блестяще подтвердило это предположение [Усов, 1937].

Проницательный ум ученого, блестящее знание геологии Сибири позволили М. А. Усову уже в конце 30-х годов среди магматических формаций обратить особое внимание на впервые выделенную им гипербазитовую формацию. Обобщенную характеристику этих образований он дал в специальной работе [Усов, 1939]. Обсуждая вопрос о положении гипербазитов в ряду других интрузивных формаций Западной Сибири, он убедительно показал самостоятельность гипербазитов, подчеркнув, что ее нельзя рассматривать как продукт дифференциации основной магмы.

Разделяя взгляды сторонников полигенной природы магм, он считал, что ультраосновная магма является такой же первичной, исходной для последующей дифференциации магмой, как гранитная, базальтовая и всякие другие магмы определенных фаз тектогенеза. Со свойственной ему энергией он доказывал ошибочность суще-

ствовавших в те годы представлений о наличии лишь двух — гранитной и базальтовой — родоначальных магм. В работе, посвященной гипербазитовой формации Западной Сибири, М. А. Усов писал: «Базироваться на законах дифференциации при решении данного вопроса (о количестве родоначальных магм.— Г. П.) никак нельзя, ибо это было бы кантовским приспособлением вещей к априорным категориям нашего петрологического рассудка» [Усов, 1939, с. 73—74].

Второй важный вывод, который был сделан ученым в рассматриваемой работе, заключался в том, что интрузия гипербазитов и тесно ассоциирующие с ними тела габброидов пространственно связаны с так называемой «осадочно-терригенной свитой». Формирование последней, по его мнению, происходило в нижней половине среднего кембрия. В то же время он констатировал более молодой возраст габброидов, основываясь на прорывании ими гипербазитов. Наряду с этим он высказал суждение о тектоническом внедрении гипербазитов в ордовикские отложения и показал, что протрузия мелких тел гипербазитов в более молодые, чем породы «осадочно-терригенной свиты», не может служить серьезным аргументом в пользу более молодого, постордовикского, возраста гипербазитов. Это заключение он основывал на известном факте наличия гальки ультраосновных пород в ордовикских конгломератах Западного Саяна. Наконец, М. А. Усов впервые обратил внимание на наличие в эндоконтактных зонах некоторых тел габброидов, рвущих гипербазиты, своеобразных пироксен — гранат — эпидотовых пород (родингитов.— Г. П.), которые он назвал скарнами. Все эти вопросы, как вы знаете, сейчас находятся в центре внимания широкого круга геологов, и их трактовка, предложенная М. А. Усовым, находит свое подтверждение.

М. А. Усов обращал внимание исследователей на то, что магматические породы являются не только физико-химическими системами, но и важными геологическими документами, позволяющими восстановить обстановку и ход процесса становления магматических тел. В этом плане он особое значение придавал связям магматизма с формами тектонических движений. Геотектогенез он рассматривал как проявление борьбы сжатия и расширения земной материи. По его представлениям, интрузивные процессы, свойственные складчатым областям, проявляются в те периоды тектогенеза, когда в этой борьбе вре-

менно побеждают явления расширения, сопровождающиеся образованием магмопроводящих трещин в нижней части земной коры. Эффузивный магматизм в геосинклинальных зонах проявляется при преобладании расширения, разрывающего трещинами всю мощность земной коры. Зарождение различных типов магм М. А. Усов также связывал с различными фазами проявления тектогенеза. Эти мысли он изложил в одной из последних своих работ «Геология магматических пород» [Усов, 1945].

Заканчивая обзор работ М. А. Усова, характеризующих научное значение его исследований в магматической геологии, необходимо напомнить читателю его замечательные по глубокому смыслу слова, приведенные в одной из ранних публикаций: «...всякий геолог прежде всего должен быть петрографом. В какой бы области не специализировался геолог всюду он имеет дело с каменным материалом, всегда он будет встречаться с горными породами или их составными частями. И он должен быть не только знаком с этими породами, но и знать историю их образования и генетическую связь. Только тогда можно делать правильные выводы, когда знаком со всеми особенностями материала, на которые опираешься в своих исследованиях» [Усов, 1913, с. 1]. В своих работах он неизменно придерживался этого правила. Именно поэтому большинство из них сохранили свое значение вплоть до настоящего времени.

ЛИТЕРАТУРА

- М. А. Усов. Федоровский или универсально-оптический метод исследования породообразующих минералов, в особенности полевых шпатов. Томск: Типо-литогр. Сиб. товарищ. печатн. дела, 1910. 142 с.
- М. А. Усов. Пограничная Джунгария. Т. II., вып. 1. Описание горных пород. Томск: Типо-литогр. Сиб. товарищ. печатн. дела, 1911. 429 с.
- М. А. Усов. О метаспикатах марганца и железа. — Изв. Спб. политехн. ин-та. Отдел. техн. естест. и мат., 1913а, т. 19, вып. 2, с. 405—456.
- М. А. Усов. Законы физико-химии в применении к петрологии. — Журн. о-ва сиб. инженеров, 1913б, № 2, с. 63—76; № 3, с. 82—102.
- М. А. Усов. Фазы эффузивов. — Изв. Томск. технол. ин-та, 1924, т. 46, вып. 1, с. 8—38.
- М. А. Усов. Фацции и фазы интрузивов. — Изв. Спб. отд. Геол. комитета, 1925, т. IV, вып. 3, с. 1—37.
- М. А. Усов. Фазы эффузивов. Изд. 2. Томск: изд. Студ. кооп. Томск. технол. ин-та, 1929. 37 с.

- М. А. Усов. Фации и фазы интрузивов. Изд. 2. Томск: Кубуч, 1932. 44 с.
- М. А. Усов. Фации и фазы пород эффузивного облика.— Пробл. сов. геол., 1935, т. 5, № 9, с. 795—812.
- М. А. Усов. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936. 209 с.
- М. А. Усов. Трапповые формации Кузбасса.— Изв. АН СССР. ОМОН. Сер. геол., 1937, № 4, с. 743—763.
- М. А. Усов. Гипербазитовая формация Западной Сибири.— В кн.: Академик В. А. Обручев к 50-летию научной и педагогической деятельности. Т. II. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1939, с. 59—77.
- М. А. Усов. Фации и формации горных пород.— В кн.: Вопросы геологии Сибири. Сборник, посвященный памяти академика М. А. Усова. Т. 1. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1945, с. 23—30.
- М. А. Усов. Геология магматических пород.— Там же, с. 179—187.

А. Ф. БЕЛОУСОВ, Г. В. ПОЛЯКОВ

М. А. УСОВ И ПЕТРОЛОГИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ

М. А. Усову принадлежит выдающаяся и не вполне еще оцененная роль в формировании идей современного направления магматической геологии — учения о магматических формациях.

Поражает глубина понимания главных проблем петрологии магматических образований уже в одной из первых работ молодого ученого «Законы физикохимии в применении к петрографии» (1913 г.). Эта работа, к сожалению, не переиздавалась и была малодоступна для геологической общественности. В ней совершенно четко сформулирован научный подход, который в геологии и естественных науках именуется модельно-теоретическим и состоит в признании необходимости гипотез и проверки их фактическими данными.

Отмечая описательный характер петрографии того времени, он считает необходимым создание теоретической науки — петрологии, которая базировалась бы на ограниченном числе исходных положений, «что является необходимым для признаний за данной отраслью знаний значения уже выработанной самостоятельной науки» [Усов, 1913, с. 3]. Лишь спустя полвека геологами был осознан этот критерий, определяющий научный статус теоретических разделов геологии. Методологически непреходяща и формулируемая в работе необходимость

связи петрографии с науками физико-химического цикла, а через них с другими отраслями знания. Важнейшее значение М. А. Усов придает использованию в теоретической петрографии физико-химических методов и законов.

М. А. Усов отмечает, что основными исходными гипотезами учения об изверженных породах могут быть два положения: 1) эти породы образовались из огненно-жидких масс; 2) эти массы (магмы, лавы) представляли собой взаимный раствор силикатных компонентов и некоторых летучих веществ, подчиненных законам физикохимии. При этом подчеркивалось, что второй из этих постулатов еще не был доказанным с очевидностью.

Нетрадиционным было утверждение его о том, что полиморфные модификации минералов «суть явления того же порядка, что и агрегативные состояния»; позже это стало аксиомой в фазовом исследовании силикатных систем.

Для него по имевшимся к тому времени данным о пирометаллургических и простых силикатных системах (опыты в геофизическом институте Карнеджи и в немногих других лабораториях) уже была совершенно очевидна необходимость эксперимента с искусственными системами для познания состава и поведения компонентов в магме, влияния их на ее свойства, познания своеобразия силикатных систем и т. д. Некоторые из сформулированных в работе задач (такие как выяснение молекулярной структуры и степени диссоциированности силикатных расплавов) лишь в наши дни начинают решаться экспериментально.

Молодой М. А. Усов обладал исключительно высокой общенаучной культурой и исключительной профессиональной проницательностью. Основываясь на данных лишь описательной петрографии, ограниченном экспериментальном материале по силикатным системам и аналогиях с водно-солевыми системами, он дал оценку относительной роли основных физико-химических факторов образования ассоциаций изверженных пород, которые сохраняют силу до сих пор.

Им сделан вывод, что магмы «отличаются, по-видимому, полной растворимостью в расплавленном состоянии. Исключение составляют лишь некоторые примеси — особенно сульфиды» [Усов, 1913, с. 5]. Это положение об ограниченном развитии ликвации сохраняет силу до сих пор для подавляющего большинства составов магм и полностью справедливо для всех рядовых магм

М. А. Усов допускал существование нескольких первичных магм, что оказалось в конце концов более жизнеспособной точкой зрения, чем получившая вскоре распространение монофилетическая концепция Н. Боуэна. В рассматриваемой работе, т. е. еще до появления книги Боуэна «Происхождение серий магматических пород», М. А. Усов квалифицировал кристаллогравитационную дифференциацию как определяющий механизм последующего фракционирования («расщепления») магм. Роль жидкостного расщепления «по закону удельных весов» он полагал более скромной, отмечая, что направленность этого процесса должна быть сходна с направленностью кристаллогравитационного, так как «отделяющиеся части по своим стехиометрическим соотношениям должны быть аналогичны тем минералам, которые выделились бы из магмы при ее кристаллизации» [Усов, 1913, с. 30].

В числе факторов петрогенеза он рассматривал давление, а также присутствие летучих веществ. В соответствии с имевшимися тогда опытами в диапазоне низких давлений (десятки атмосфер) он полагал, что роль этого фактора в процессе кристаллизации магм относительно невелика, но все-таки петрологически значима. Давление, как отмечено в работе, влияет на содержание в магме летучих веществ, необходимых для кристаллизации амфиболов, биотита, а также кислых полевых шпатов (имелись в виду собственно калиевые и натриевые разновидности последних). Очень распространенную резорбцию вкрапленников кварца в порфирах М. А. Усов считал результатом спада давления при подъеме магмы, при уменьшении давления кварц перестает быть избыточным над кварцево-полевощпатовой эвтектикой.

Он подчеркивал фундаментальную роль эвтектик и приближенных к ним систем (анхивтектические породы, по И. Фогту) в образовании магматических пород. Эвтектической природой гранитов он объясняет огромное их развитие и относительно устойчивый их состав, указывает, что при переходе к эвтектической кристаллизации вообще затухает расщепление (дифференциация) магмы. Им отмечается особая актуальность изучения сложных эвтектик и приближенных к ним систем с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в совместно кристаллизующихся минералах. Все это имеет прямое отношение к проблеме магматических котектик, в том числе к вопросу котектической устойчивости составов магм при их кристаллизации.

Молодой ученый приходит к заключению, что «при всей сложности явлений, возникающих при изменении состояния системы, для петрографии особенно важное значение имеют закон образования твердых растворов и закон эвтектики. Действительно, эти законы регулируют, вообще говоря, порядок выделения и состав выделяющихся компонентов горных пород, а это обстоятельство и является наиболее существенным для характеристики последних. Конечно, такие факторы, как скорость охлаждения, скорость кристаллизации отдельных компонентов, перенасыщение растворов, присутствие летучих веществ и т. д., сильно влияют на структуру и даже порядок выделения в образующихся породах, но все это относится до некоторой степени к случайным явлениям и не может подорвать выведенных главных законов» [Усов, 1913, с. 29]. Все эти положения остаются справедливыми до сих пор.

К общетеоретическим вопросам магматизма М. А. Усов вернулся спустя более 10 лет, имея к этому времени опыт разносторонних геологических, в том числе петрографических, исследований в Сибири и опыт обобщения геологических знаний в вузовских курсах и учебных пособиях по исторической геологии и месторождениям полезных ископаемых.

В работе «Фазы эффузивов» основное внимание он уделит вторичным изменениям вулканических пород. Принципиально новым здесь является подход к изверженным породам как к естественно-историческим объектам. Предложив свой вариант качественной классификации неизмененных («первичных») эффузивных пород на основе фиксации минералов свободного кремнезема, альбита, олигоклаза, олигоклаз-андезина, андезина, лабрадора, основного плагиоклаза, фельдшпатидов и оливина (которая используется петрологами в той или иной мере и сейчас), он критически указывал на слабую разработанность классификации изверженных пород вообще, отмечив, что в этом отношении «петрографы неизмеримо слабее палеонтологов, обращая слишком незначительное внимание на этот метод исследования естественно-исторических объектов» [Усов, 1924, с. 51].

В работе «Фации и фазы интрузивов» [1925] автор настойчиво пропагандирует взгляд о том, что магматические горные породы «являются очень важными геолого-историческими телами, классификация которых должна отражать условия их образования» [Усов, 1960, с. 57]. Он

писал: «Естественная классификация магматических пород должна учитывать всю совокупность свойств этих образований, как-то: а) химический состав, б) минералогический состав, в) структурные и текстурные особенности, г) условия и формы залегания, д) способ происхождения и пр., причем из этих факторов особенное значение имеют способ происхождения и условия залегания, ибо ими определяются образование магмы, ее дальнейшее изменение и, наконец, оформление породы, возникающей из этой магмы...» [с. 57]. М. А. Усов отмечал, что ведущим должен быть геологический метод, и петрологию нельзя считать «лишь частным выражением физико-химических наук, к чему имеется большая тенденция в позднейшем ее развитии» (с. 57). Он имел в виду главным образом узкую физико-химическую направленность западной петрологической школы, наследие которой существенно чувствуется до сих пор.

Следует отметить, что сформулированные М. А. Усовым основные свойства магматических пород кладутся в основу всех многоцелевых общих классификаций изверженных пород и формаций.

Инструментом, с помощью которого при описании и классификации магматических образований учитывается фактор условий становления, служит понятие о фациях (как различаемых зон с выясненной обстановкой формирования пород), заимствованное из осадочной геологии. М. А. Усов выделил и охарактеризовал эффузивную, гипабиссальную и абиссальную фации глубинности магматических тел и ряд субфаций, положив в основу их диагностики геолого-петрографические критерии. Последнее было предопределено отсутствием иных эффективных критериев глубинности, в частности основанных на тонком анализе состава минералов и минеральных ассоциаций, которые были разработаны много позже. Сформулированная им совокупность геолого-петрографических критериев сохраняет важное значение в современном комплексе показателей глубины становления plutonic тел.

Методологическая необходимость и самостоятельное значение общегеологических предпосылок при расшифровке условий петро- и магмогенеза изверженных тел и формаций подтверждается всем последующим опытом, в том числе обобщающими исследованиями последних лет. Эти исследования подтверждают отмеченную М. А. Усовым бесперспективность подхода, при котором изверженные породы рассматриваются лишь как химические системы

М. А. Усов справедливо указал на гораздо большее разнообразие физико-химических обстановок становления плутологических пород против эффузивных, на более значительные возможности их дифференциации, на относительно ограниченные возможности этого процесса в гипабиссальных очагах против абиссальных. Он подчеркнул широкое, по существу региональное развитие метаморфизма и плавления пород коры в зоне абиссальных интрузивов.

Среди недочетов в петрологии ученый отмечал недостаточное петрогенетическое освещение гранитоидиоритовых ассоциаций, составляющих, по его оценке, более 90 % объема всех интрузивов [Усов, 1960, с. 58]. До сих пор малоизучен и не систематизирован такой элементарный петрологический вопрос, как последовательность кристаллизации в лейкобазитах и гранитоидах. То же относится к отмеченной М. А. Усовым слабой изученности и недооценке роли внедрений самостоятельных магм разного состава в гипабиссальных плутонах.

Методологически важно, что в рассматриваемой работе, как и в статье «Фации и фазы пород эффузивного облика» [1935] рассматриваются не только типы пород, но и типы магматических тел со всеми относящимися к последним характеристиками. Исследование тел изверженных пород как составных частей магматических формаций легло позже в основу лучших работ по формационному анализу магматических образований. М. А. Усов признавал ограниченность петрологической информации, заключенной в отдельных пробах горных пород, и приводил мнение В. Н. Лодочникова о том, что по куску породы не узнать, в каких условиях она образовалась. Данные изучения магматических формаций подтверждают, что выводы об их генезисе довольно неоднозначны и шатки без учета геологических отношений пород и тел.

Фации пород эффузивного облика, намеченные М. А. Усовым,— штоковая, силлово-лакколитовая, дайковая, жерловая и экструзивная (лав и эксплозивных выбросов) — учитываются и сейчас, с теми или иными вариациями, при фациальной расшифровке вулканических комплексов.

Академик Ю. А. Кузнецов в фундаментальных трудах по магматическим формациям неоднократно подчеркивал, что многие магматические комплексы и формации являются крупными полифациальными геологическими образованиями, разные части которых могут возникать в раз-

ных геологических обстановках. Продолжив начатые М. А. Усовым исследования в области фашиальности изверженных горных пород, он оперировал с ассоциациями магматических тел — магматическими комплексами [Кузнецов, 1964]. По его мнению, для выделения и типизации магматических комплексов большое значение имеют фации глубинности и более мелкие фашиальные подразделения, выражающиеся в формах магматических тел, условиях залегания, характере контактового метаморфизма, особенностях состава, структуры и текстуры пород, слагающих разные тела или разные части тела, и т. д. Эти особенности во многом зависят от состава и свойств магмы и от геологических условий среды [Кузнецов, 1960, 1964]. Таким образом, здесь идеи и научное наследие М. А. Усова нашли приложение и дальнейшее развитие.

В тезисах «Фации и формации горных пород» [1945] М. А. Усов был склонен закрепить термин «формация» за некоторым более или менее определенным рангом совокупностей горных пород, отвечающих одному «геологическому циклу» («вулканическому циклу» и т. п.). Подобная точка зрения популярна в осадочной геологии и имеет сторонников в магматической, хотя, по-видимому, вполне назрела необходимость различать употребление термина для принципиального понятия геологической формации (как парагенезиса горных пород и тел) от обозначения одного из рангов таких парагенезисов.

В посмертно изданной статье «Геология магматических пород» исходным тезисом было высказывание о том, что «магматические породы являются не только интересными физико-химическими системами, но и важными геологическими документами, позволяющими восстановить обстановку и ход процесса становления магматических тел» [Усов, 1960, с. 120]. Сочетание физико-химического и геологического подходов при выяснении петрогенеза ассоциаций магматических пород и тел было неизменной научной платформой М. А. Усова. Здесь же он изложил исключительно важные положения о связи магматических пород с формами тектонических движений, которые предвосхищают разработку тектономагматического направления в формационном анализе в последующие годы. В качестве важных петрологических факторов отмечают состав и строение земной коры. Представление о вертикальных зонах становления магматических пород, высказанное в работе, предваряет современные представ-

ления о полибарических рядах магматических образований. Здесь же четко высказана точка зрения о полифилии магм, предусматривающая возможность ортомагматического происхождения гипербазитов. Высказаны мысли о сопряженности вулканов центрального типа с глубинными интрузиями, предвосхищающие более поздние представления о вулканоплутонических ассоциациях.

Во многих работах М. А. Усов развивал ряд положений о связи магматических пород с типами тектонических движений, которые представляют интерес и сегодня [Усов, 1935, 1936, 1945]. Сюда относятся положения о сопряженности гранитоидного магматизма с зонами сжатия земной коры, а эффузивного магматизма — с зонами растяжения, региональных поднятий и сбросовых дислокаций. Подобные геодинамические предпосылки используются в современных работах по петрогенезу магматических формаций геосинклинальных и орогенных зон, рифтовых поясов и т. д.

Таким образом, современный формационный анализ магматизма и в том числе петрология магматических формаций, развиваемые в большой мере усилиями сибирской школы геологов, многими своими корнями уходят в богатейшее научное наследие М. А. Усова.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов Ю. А. О принципах выделения и классификации фаций магматических пород. — В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 246—254.
- Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1964. 387 с.
- Усов М. А. Законы физико-химии в применении к петрографии. — Журн. о-ва сиб. инженеров, 1913, № 2, с. 63—76; № 3, с. 82—102.
- Усов М. А. Фазы эффузивов. — Изв. Томск. технол. ин-та, 1924, т. 46, вып. 1, с. 8—38.
- Усов М. А. Фации и фазы эффузивов. — Изв. Сиб. отд. Геол. комитета, 1925, т. 4, вып. 3, с. 1—37.
- Усов М. А. Фации и фазы пород эффузивного облика. — Пробл. сов. геол., 1935, т. 5, № 9, с. 795—812.
- Усов М. А. Геология рудных месторождений Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1935. 86 с.
- Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936. 209 с.
- Усов М. А. Основные формы тектонических движений. — В кн.: Вопросы геологии Сибири. Сборник, посвященный памяти акад. М. А. Усова. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1945, с. 23—30.

- Усов М. А. Фации и фазы интрузивов.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 57—97.
- Усов М. А. Фации и формации горных пород.— Там же, с. 115—119.
- Усов М. А. Геология магматических пород.— Там же, с. 120—124.

М. П. КОРТУСОВ, С. С. ИЛЬЕНОК

М. А. УСОВ — ОСНОВОПОЛОЖНИК УЧЕНИЯ О ФАЦИЯХ И ФОРМАЦИЯХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Трудно себе представить обобщающие работы по магматическим породам, в которых не было бы характеристики фаций, а также формаций магматических пород. Достаточно отметить созданную коллективом ВСЕГЕИ карту магматических формаций территории нашей страны [Карта..., 1968]. В работах подобного типа использованы исследования как советских, так и зарубежных ученых.

Огромна заслуга М. А. Усова в обосновании учения о фациях и формациях магматических пород. В первые годы существования Советского государства на развитие геологии еще влияли схоластические представления. М. А. Усов выступил в науке с новыми, носящими революционный характер взглядами, основанными на марксистско-ленинской методологии, например на условия формирования и классификацию магматических пород. Прежде всего, он отмечал, что условия образования пород накладывают определенный отпечаток на формы тел, минералогический состав, структурные и текстурные особенности, характер контактового метаморфизма, а также на режим летучих, с которыми связаны эндогенные полезные ископаемые. Ученый предложил учитывать совокупность признаков магматических пород и тел, определяющих условия их образования и позволяющих делить их по фациям глубинности. Кроме эффузивной фации им предложено выделять тела абиссальной (глубинной) и гипабиссальной (малоглубинной) фаций, а также субфаций средних глубин, которые имеют промежуточный характер между первым и вторым типом. Вместе с тем он указывает, что могут быть выделены и другие фации или субфации.

Исключительно интересна приведенная им петрографо-минералогическая характеристика пород гиабиссальной и абиссальной фаций. Она убедительно показывает связь формы, величины тел, структуры и текстуры пород, характера дифференциации магмы и проявлений контактового метаморфизма, пространственного распределения пород, которая позволяет использовать комплекс признаков для фациального анализа [Усов, 1925, 1932].

Вместе с тем М. А. Усов отмечал, что породы после своего образования продолжают жить, изменяться, хотя процессы в кристаллических решетках минералов протекают чрезвычайно медленно. Конечно, более резко эти преобразования, которые относятся к диагенетическим, должны протекать в эффузивах, так как их образование связано с быстрым охлаждением, закалкой и с появлением в них вулканического стекла. В кристаллических фазах проявляются твердые растворы. Они неустойчивы и с течением времени, особенно при воздействии гидротермальных растворов, способны к распаду. Действительно, такие минералы, как санидин, анортоклаз, проявляются лишь в свежих эффузивах или приповерхностных интрузивных телах. В древних эффузивах они не сохраняются, там устойчивы ортоклаз и микроклин. В последних широко развиты продукты распада в виде пертитовых вростков. Вулканическое стекло подвергается раскристаллизации, переходит в фельзит или замещается вторичными минералами.

М. А. Усов [1924, 1929] предложил выделять первичную, диагенетизированную и зеленокаменную фазы состояния эффузивов. Последняя фаза проявляется в древних породах, особенно в эффузивах геосинклинальных структур. После погружения осадочно-эффузивных толщ происходят складчатость и метаморфизм, и поэтому в эффузивах широко развиваются вторичные минералы — хлорит, эпидот и др. Эффузивные породы и их туфы приобретают зеленокаменный облик. Поэтому выделяется зеленокаменная фаза состояния эффузивов. Однако диагенез с обычным покраснением пород может проявляться вследствие действия летучих компонентов в отдельных участках эффузивных тел. Поэтому считать связь этих фаз состояния только с временем нельзя. В своих ранних работах М. А. Усов подразделял эффузивные породы на кайнотипные и палеотипные. Такое расчленение эффузивов было использовано А. Н. Заварицким [1955] в монографии, посвященной описанию магматических пород.

Учение о фациях магматических пород получило широкое распространение, особенно в связи с работами по геологической съемке. На основании новых материалов Ю. А. Кузнецов провел дальнейшее расчленение фаций магматических пород. Он подчеркнул, что фация является многоплановым понятием, и предложил выделять фации глубинности (макрофации) и фации по особенностям формы и размеров магматических тел (мезофации) [Кузнецов и др., 1973]. Оказалось возможным выделять и более мелкие фации внутри магматических тел, о чем сказано в работе Н. Д. Соболева [1960]. Для оруденения важны фации эндоконтактных зон гипабиссальных тел и апикальные части гранитоидных тел с пегматитами.

Ю. А. Кузнецов выделил шесть макрофаций: 1) поверхностные (эффузии, экструзии); 2) приповерхностные, или субвулканические; 3) гипабиссальные, или малоглубинные; 4) среднеглубинные; 5) абиссальные, или глубокие; 6) ультраабиссальные. Даны их характеристики, подразделения на мезофации для продуктов гранитоидных, базальтоидных, щелочных и гипербазитовых магм [1949, 1955, 1960, 1973].

В соответствии с фациями глубинности магматических пород М. А. Усов предложил расчленение эндогенных рудных месторождений, что дало возможность делать прогнозные заключения [1933, 1937]. Более подробное разделение фаций глубинности магматических пород, предложенное Ю. А. Кузнецовым, позволило детально классифицировать эндогенные месторождения [Кушнарев, 1969].

С развитием геологических исследований накапливались материалы по выделению типов формаций, или природных ассоциаций магматических пород, выраженных обычно в виде серий магматических тел. М. А. Усов [1939], рассматривая геологическое строение Западной Сибири, выделял магматические формации как комплексы, приуроченные к определенным фазам тектогенеза. Он обращал внимание на характеристики магматических формаций с подробным петрографо-минералогическим описанием пород, что позволяло получать ту или иную конкретную информацию.

Позднее Ю. А. Кузнецов [1964] обобщил огромный материал по геологии, химическому и минеральному составу магматических пород территории СССР и зарубежных стран, представляющих учение о магматических формациях.

Таким образом, идеи М. А. Усова о фациях и формациях магматических пород получили широкое развитие и выделились в крупные научные направления.

ЛИТЕРАТУРА

- Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 479 с.
- Карта магматических формаций СССР. Л.: изд. ВСЕГЕИ, 1968.
- Кортусов М. П. Введение в учение о магматических формациях. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1974, с. 128.
- Кузнецов Ю. А. Схема классификации фаций магматических пород.— Тр. Горно-геол. ин-та ЗСФАН СССР, 1949, вып. 5. 28 с.
- Кузнецов Ю. А. Фации магматических пород.— В кн.: Вопросы геологии Азии. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1955, с. 645—657.
- Кузнецов Ю. А. О принципах выделения и классификации фаций магматических пород.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 246—254.
- Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1964. 387 с.
- Кузнецов Ю. А., Шарапов В. Н., Меламед В. Г. О магматических фациях глубинности.— Геол. и геофиз., 1973, № 7, с. 3—17.
- Кушнарев И. П. Глубины образования эндогенных месторождений. М.: Недра, 1969. 151 с.
- Соболев Н. Д. Фации гранитоидов и оруденение.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960.
- Усов М. А. Фазы эффузивов.— Изв. Томск. технол. ин-та, 1924, т. 46, вып. 1, с. 8—38.
- Усов М. А. Фации и фазы интрузивов.— Изв. Сиб. отд. Геол. ком., 1925, т. 4, вып. 3, с. 1—37.
- Усов М. А. Фазы эффузивов. Изд. 2-е. Томск: Студ. кооп. Томск. технол. ин-та, 1929. 37 с.
- Усов М. А. Фации и фазы интрузивов. Изд. 2-е. Томск: Кубуч, 1932. 44 с.
- Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Изд. 2-е. Томск: Кубуч, 1933. 200 с.
- Усов М. А. Фации магматических пород и их рудоносность.— В кн.: Международный геологический конгресс. XVII сессия. (Тезисы докладов). М.— Л.: ОНТИ, 1937. 53 с.
- Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края.— В кн.: Труды XVII сессии Международного геологического конгресса. Т. 2. М.: ГОНТИ, 1939, с. 635—636.

**РАЗВИТИЕ ИДЕЙ М. А. УСОВА
В ИЗУЧЕНИИ МАГМАТИЧЕСКИХ
ФАЦИЙ ГЛУБИННОСТИ
И ФАЦИЙ ТЕЛ
ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

На протяжении 20-х и 30-х годов М. А. Усов сформулировал и в главных чертах конкретизировал на примере эффузивных образований основы учения о магматических фациях глубинности и фациях тел изверженных горных пород. Исторический обзор его работ в этой области сделан в статьях Ю. А. Кузнецова и Г. В. Пинуса. В предлагаемой статье обратимся к тем их аспектам, которые получили развитие после опубликования сборника «Основные идеи М. А. Усова в геологии» (1960), посвященного его памяти.

Учение о магматических фациях глубинности, возникшее из требований практики картирования тел изверженных пород, ставило своей целью определение геологических и термодинамических условий их формирования на основе изучения внешнего вида породы, а также морфологии и размеров массива. Фактически (при существовавшем тогда и в последующем уровне развития петрологии) магматические фации глубинности выделялись только по данным изучения геологической обстановки залегания магматических тел. По внешнему виду эффузивные и субвулканические фации различались, но не во всех случаях. Разделить таким образом тела мезоабиссальной и гипабиссальной фаций было затруднительно. Магматические фации глубинности исследовались главным образом в приложении к гранитоидным интрузивам, поскольку это было связано с необходимостью определить их металлогенические особенности, а также возможностями прослеживания зональности в интрузивах.

К середине 60-х годов интерес к этой проблеме постепенно угас, поскольку петрографы переключились или на разработку вопросов формационного анализа, или на дискуссии вокруг петрологических альтернатив глобальной тектоники. Связано это было еще и с тем, что были исчерпаны возможности применявшихся тогда методик и математических методов анализа магматических процессов.

Действительно, поток новой информации возник в этой области лишь после создания и применения в геологических исследованиях рентгеновских микроанализаторов и развития методов электронной микроскопии в приложении к задачам генетической минералогии.

Уравнение Фурье, использовавшееся для описания задач теплообмена в магматогенных процессах, к этому времени оказалось недостаточной математической моделью процессов охлаждения интрузивов, а стефановский подход только начал внедряться в петрологию после появления серии работ Дж. Егера [Jager, 1957, 1959, 1961] и Ю. Шимазу [Shimazu, 1959—1961].

Для более глубокого понимания проблем описания магматических фаций глубинности весьма полезными оказались обобщения в области учения о метаморфических фациях и разработки моделей конвективного теплопереноса в магматогенных процессах, а также широкое внедрение задачи Стефана для петрологических приложений [Фации метаморфизма, 1970; Теплообмен..., 1972].

Эти достижения позволили [Кузнецов и др., 1973] уточнить понятие «магматическая фация глубинности» и классификацию магматических фаций глубинности, предложенную ранее Ю. А. Кузнецовым [Кузнецов, 1949, 1960, 1964].

Таким образом, были исчерпаны качественные геологические и термодинамические подходы в развитии учения о магматических фациях глубинности. Для дальнейшего его углубления потребовалась разработка количественных моделей динамики магматических процессов. Необходимость их создания диктовалась в связи с использованием этого учения к анализу фаций тел изверженных горных пород. Однако прошло около 10 лет труда петрологов, математиков и физиков, прежде чем модельный аппарат петрологии изверженных пород оказался пригодным для этих целей. Развитие в эти же годы учения о магматических формациях и глобальной тектоники и магматизма позволило более широко, чем это было прежде, рассматривать проблему магматических фаций глубинности.

Так, существующие до сих пор классификации магматических фаций глубинности ограничивались фиксацией условий абиссальной фации, где возникают массивы чарнокитов. Предполагалось, что становление массивов (а речь шла о гранитоидном магматизме преимущественно) изверженных пород ограничивается только земной корой. Не учитывались также различные типы земной коры, так

как в фаціальном анализе рассматривались лишь разрезы континентов фанерозойского возраста. Следовательно, недостатки фаціального анализа должны быть устранены, так как современная петрология и тектоника располагают существенно большими сведениями об условиях возникновения магм и их превращения в изверженные породы.

В учении о магматических фациях глубинности имеются и слабые стороны, выявившиеся в процессе разработки проблем генезиса магматических формаций. В отношении базит-гипербазитовых формаций при разработке учения о магматических фациях глубинности вопрос в общем виде практически не ставился. Для его развития необходимо иметь в виду по крайней мере весь разрез литосферы с ее термодинамическими условиями в различных зонах континентов, океанов и переходных между ними зон. Это одна сторона проблемы. Другая связана непосредственно со стержневым аспектом учения о магматических фациях изверженных пород — «внешним обликом» породы и внутренней структурой магматических тел, которая определяется распределением в массиве изверженных пород определенного «внешнего облика» (структуры и текстуры, а также состава). Указанные общие и частные вопросы при практической работе петрографа тесно связаны. Действительно, геологическому наблюдению доступен весьма ограниченный по вертикали уровень проявления магматизма. Об остальном можно судить лишь по геофизическим данным и изучению ксенолитов глубинных пород. В этом случае, собственно, и решается задача определения термодинамических условий становления изверженной породы по ее «внешнему облику», — минеральный состав, текстура и структура, плотность, строение кристаллов минералов и т. п. Основанием для успешной работы такого рода является описание динамики дифференциации магм и в картируемых плутонах различных магматических фацій глубинности.

При исследовании реальных интрузивов главной задачей является выделение фацій изверженных пород и определение их природы. В интрузивах обычно выделяют две группы фацій изверженных пород — контактовые и центральной части массивов. Они отличаются не только по структурно-текстурным особенностям, но нередко и по составу. При этом петрохимическая зональность интрузивных тел — наиболее яркое проявление этих фацій. Они заметно различны для разных по «среднему» составу

плутонов. Учитывая накопленный материал по изучению магматических формаций, в первом приближении можно указать два основных типа рядов магматических формаций — гранитоидных и базит-гипербазитовых.

Проблема разграничения фаций тел изверженных пород может быть освещена на основе разработки количественных моделей динамики дифференциации в интрузивной камере. Так, решение задач динамики дифференциации в равновесном и неравновесном приближении, учет кинетики кристаллизации позволяют подойти к описанию фаций магматических пород с точки зрения как характера макроразделения компонентов, так и структурно-текстурных особенностей изверженных пород. Отметим наиболее существенные моменты такого подхода.

Показано [Апросимова и др., 1982], что скорости кристаллизации котектических расплавов в интрузивах простой формы имеют почти симметричную форму в координатах $V_S - t$, — вначале скорость кристаллизации быстро уменьшается до некоторой почти постоянной величины, а в конце затвердевания резко возрастает почти до начальных значений. Здесь V_S — скорость движения фронта солидуса, t время. Соответственно на диаграмме $V_S - C_L$ (C_L — концентрация компонента в расплаве). Кривая скорости кристаллизации может пересечь разные области направленной кристаллизации от бездиффузионной до квазиравновесной.

Поскольку эффективный коэффициент распределения ($K_{эф}$) зависит от V_S [Шарапов и др., 1978], то по этому параметру несложно классифицировать (отделять) фации интрузивных тел. Так, естественно сопоставить контактовые фации интрузивов с начальным участком изменения скорости кристаллизации магмы и полагать, что в этом интервале будут иметь место минимальные диффузионные процессы разделения. Или считать, что $K_{эф}^{диф} \sim 1$, а разделение может быть связано только с термоконвекцией или барботированием пузырей [Черепанов и др., 1983]. Ранее Ю. Шимазу [Shimazu, 1959] полагал, что контактовую фацию с бездиффузионной направленной кристаллизацией можно описать критерием вида: $l = D/V_S R$, где D — коэффициенты диффузии; $2R$ — мощность интрузива. Если учесть значения приведенных параметров [Шарапов, Исаенко, 1977], то размер l весьма невелик. В реальных интрузивах размеры этих зон существенно больше рассчитываемых по приведенному уравнению. Поэтому был получен иной критерий, который предложено называть чис-

лом Шимазу [Шарапов, Исаенко, 1977]:

$$Sh_i = l_k/R.$$

Здесь l_k — размер зоны, где скорость кристаллизации в интрузиве шириной $2R$ меняется максимально. В реальных телах отношение ширины зоны пород контактовой фации к R варьирует в пределах 0,03—0,1. Сопоставление расчетов и реальных значений Sh_i показало, что они близки к теоретическим [Шарапов, Исаенко, 1977].

В отношении характера разделения компонентов и ширины контактовой фации в интрузиве следует отметить, что $K_{эф}$ начинает отличаться от 1 лишь при достижении определенных соотношений между V_s и $D_{эф}$ [Шарапов и др., 1978]. Поэтому для некоторых интрузивов нет смысла искать связь между l_k и дифференцированностью пород. В связи с этим было введено понятие о «критическом» размере интрузивов, при которых нет диффузионного разделения при направленной кристаллизации; например, для базитовых интрузивов $2R$ порядка 60—100 м. В таких массивах возможны гравитационная сегрегация или термоконвекционное разделение, которые встречаются в лавовых потоках и в кратерных лавовых озерах.

В отношении магматических фаций глубинности для коровых базитовых плутонов динамический подход позволяет наметить ряд полезных качественных соображений и предложить схему разделения фаций по характеру дифференциации массивов [Шарапов, Исаенко, 1977].

В последнее время появилась возможность использовать неравновесный подход для анализа фаций интрузивных массивов и выделения магматических фаций глубинности базитовых плутонов. Подход основан на решении системы уравнений неравновесной динамики кристаллизации, когда известны ключевые кинетические параметры b , d , E , D_i , κ и др. [Черепанов и др., 1983]. В этом случае можно численно описать структуру породы и зональность отдельных кристаллов. При этом по «внешнему» виду породы можно определить, в каких термодинамических условиях охлаждения и для каких составов образовались магматические фации глубинности. Для выделения фаций интрузивных массивов этот метод чрезвычайно чувствителен, поскольку в условиях всех магматических фаций глубинности контактовые фации изверженных пород формируются при скорости охлаждения на 1—2 порядка более высоких, чем центральные. Естественно, возникают различия как в распределении петрогенных компонентов

и примесей в кристаллах, так и в структуре пород. Показательно в этом отношении изучение количества и размеров кристаллов в диабазовых дайках, выполненное Н. Греем [Gray, 1978]. Обнаружено, что за пределами «контактной» зоны шириной в несколько сантиметров количество кристаллов в единичном объеме (N) описывается соотношением $N \sim x^n$, где x — расстояние от контакта, n — некоторая постоянная. Очевидно, что n является функцией степени пересыщения (допустим m_i) и механизмов роста (v_i). В изученных дайках $n = (-0,9) \div (-2,2)$, а $m = \text{const} = 3,0$. Неодинаковость состава расплавов сказывается на величине n , а также на морфологии и размерах, например, кристаллов клинопироксена (различны D_i, E, d). Отметим некоторые наблюдения других исследователей, принципиальных для рассматриваемого вопроса [Мананков, 1979]. В отношении отдельных параметров полезно указать следующие результаты.

К. Дональдсон [Donaldson, 1978] показал, что нуклеация кристаллов оливина определяется величиной переохлаждения и начального перегрева базальта. Она велика при малых ΔT . Так, при $\Delta T < 10^\circ\text{C}$ задержка достигает 24 ч, а ΔT_{min} для относительно быстрой нуклеации составляет 15°C . При этом чем выше перегрев, тем больше задержка. А. Бианко и Л. Тейлор [Bianco, Taylor, 1977] выяснили, что при высоких скоростях охлаждения для расплавов лунных базальтов некоторые различия в их вязкости не влияют на характер кристаллизации, а составы и количество минералов определяются скоростью охлаждения. Количество зародышей зависит от состава жидкости — их больше в маложелезистом стекле (где вязкость выше). Характерно, что структура породы, состав и температура формирования минералов зависят от T , при которой началось охлаждение.

Т. Гроув и М. Рудзепш [Grove, Raudsepp, 1978] обнаружили наличие концентрационных «двориков» и изменения в составе пироксена в поперечнике кристаллов при кристаллизации кварц-нормативного лунного базальта. Очевидно, что указанный выше подход является единственным для установления термодинамических условий охлаждения плутонов по «внешнему облику» породы. В последние годы появился инструментальный метод, позволяющий тонко исследовать изменение микроструктуры минералов [Шиммель, 1972; Electron..., 1976]. Исследования для наших целей плаггиоклазов, выполненные Н. Г. Стениной с соавторами [Стенина, Шарпов, 1982;

Стенина, Балыкин, 1983], показали, что в сочетании ПЭМ (просвечивающая электронная микроскопия) микронзондовое и петрографическое изучение пород может решить диагностическую задачу разделения базитовых пород различных фаций плутонов и разделить массивы, формировавшиеся в различных термодинамических условиях.

Наличие теории и инструментальных методов изучения пород позволяет строить учение о магматических фациях глубинности на той основе, которая высказывалась М. А. Усовым в изучении состава и структуры изверженной породы. Тогда геологическая обстановка, доступная при картировании интрузивов, будет служить вспомогательным фактором, а для случая больших глубин — определяться по «внешнему облику» изверженной породы.

ЛИТЕРАТУРА

- Апросимова Н. Г., Дробышев В. И., Черепанов А. Н., Шаронов В. Н. Динамика дифференциации котектических магм.— Докл. АН СССР, 1982, т. 264, № 2, с. 429—431.
- Кузнецов Ю. А. Схема классификации фаций магматических пород. Новосибирск, 1949. 27 с.
- Кузнецов Ю. А. О принципах выделения и классификации фаций магматических пород.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 246—254.
- Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1964. 376 с.
- Кузнецов Ю. А., Шаронов В. Н., Меламед В. Г. О магматических фациях глубинности.— Геол. и геофиз., 1973, № 7, с. 3—12.
- Мананков А. В. Основы технической минералогии и петрографии. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1979. 178 с.
- Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. 560 с.
- Стенина Н. Г., Шаронов В. Н. Микроструктура фено- и ксенокристаллов плагиоклаза из базальтовых лав Камчатки.— В кн.: Динамические модели физической геохимии. Новосибирск: Наука, 1982, с. 89—98.
- Стенина Н. Г., Балыкин П. А. Использование просвечивающей микроскопии для реконструкции геологической истории плагиоклазов.— В кн.: Генетические и динамические модели магматогенных процессов. Новосибирск: Наука, 1983, с. 129—137.
- Теплообмен в магматогенных процессах/Дударев А. Н., Кудрявцев В. А., Меламед В. Г., Шаронов В. Н. Новосибирск: Наука, 1972. 123 с.
- Фации метаморфизма. М.: Недра, 1970. 417 с.
- Черепанов А. Н., Шаронов В. Н., Кривенко А. П. Модель динамики неравновесной кристаллизационной дифференциации магм в базитовых плутонах.— Геол. и геофиз., 1983, № 3, с. 28—36.

- Шарапов В. Н., Исаенко Л. И. Динамика дифференциации базитовой магмы в камере.— В кн.: Проблемы дифференциации вещества в магматических и рудообразующих процессах. Новосибирск: Наука, 1977, с. 34—55.
- Шарапов В. Н., Ильин В. П., Якушева Л. В. Динамика диффузионной фракционной кристаллизации эвтектичных магм.— В кн.: Математическое физическое моделирование рудообразующих процессов. Новосибирск: Наука, 1978, с. 83—106.
- Шиммель Г. Методика электронной микроскопии. М.: Мир, 1972. 284 с.
- Bianco A. S., Taylor L. Applications of dynamics crystallization studies: Lunar olivine-normative basalts.— In: Roc. 8-th Lunar Sci. Conf. Houston, Tex., 1977, v. 2. N. Y. e. a., 1977, p. 1593—1610.
- Donaldson C. H. Supercooling of a basalt melt and delay in nucleation of olivine.— Natur. Environ. Res. Counc. Publes Ser., 1978, N 11, p. 13—16.
- Electron microscopy in mineralogy. Berlin — Heidelberg — N. Y.: Springer Verlag, 1976. 564 p.
- Gray N. H. Crystal growth and nucleation in flash-injected diabase dikes.— Canad. J. Earth Sci., 1978, v. 15, N 12, p. 1904—1929.
- Grove T. L., Raudsepp M. Effects of kinetics on the crystallization of gartz normative basalt 15597, an experimental study.— In: Proc. 9-th Lunar and Planet Sci. Conf. Houston, Tex. N. Y., 1978, v. 1, p. 285—299.
- Jager J. C. Temperature in the neighbourhood of a cooling intrusive sheet.— Amer. J. Sci., 1957, v. 254, p. 443—446.
- Jager J. C. Temperature outside of cooling intrusive sheet.— Amer. J. Sci., 1959, v. 259.
- Jager J. C. The cooling of irregularly shaped igneous bodies.— Amer. J. Sci., 1961, v. 259.
- Shimazu Y. A. A thermodynamical aspect of the earths interiorphysical interpretation of magmatic differentiation process.— J. Earth. Sci., Nagoya Univ., 1959, v. 7, p. 1—34.
- Shimazu Y. A. A physical interpretation of crystallization of the Skaergaard Intrusion.— Ibid., p. 35—48.
- Shimazu Y. A. Physical conditions of contamination and fractionation of basaltic parental magma.— J. Earth. Sci., Nagoya Univ., 1960, v. 8, p. 72—85.
- Shimazu Y. A. Physical theory of generation, upward transfer, differentiation, solidification, and explosion of magmas.— J. Earth. Sci., Nagoya Univ., 1961, v. 9, p. 185—223.

В. А. КУЗНЕЦОВ, В. К. ЧЕРЕПНИН, В. И. БАЖЕНОВ

РОЛЬ М. А. УСОВА В РАЗВИТИИ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ СИБИРИ

М. А. Усов как ученый-геолог отличался чрезвычайной широтой научных интересов. Региональная геология, стратиграфия, тектоника, структурная геология, петро-

графия, петрология, учение о полезных ископаемых... Таков далеко не полный перечень научных направлений, в которых работал Михаил Антонович.

Весьма значителен его вклад в развитие рудной геологии и изучение рудных богатств Сибири. Еще в дореволюционные (1910—1912) годы он совместно с В. А. Обручевым проводил геологические исследования и экспертизу золоторудных месторождений Кузнецкого Алатау и Забайкалья, Кентейского хребта в Северной Монголии.

Расцвет научной и практической деятельности М. А. Усова относился к тому периоду, когда советский народ после победы социалистической революции и гражданской войны приступил к восстановлению народного хозяйства и решению проблемы индустриализации нашей страны. В связи со строительством в Западной Сибири Кузнецкого металлургического комбината и предприятий цветной металлургии возникла острая необходимость в изучении и создании минерально-сырьевой базы проектируемых горно-рудных предприятий. Эта колоссальная работа могла быть выполнена на базе планомерного изучения геологического строения региона крупным коллективом геологов. Задача решалась силами созданного М. А. Усовым Сибирского отделения Геологического Комитета страны и позднее — Западно-Сибирского геологического управления, научным руководителем которого был М. А. Усов, т. е. задача решалась при самом непосредственном участии и руководстве Михаила Антоновича. Характерной чертой стиля его работы всегда было постоянное чувство нового, стремление к непрерывному совершенствованию методов геологических исследований. Касаясь позже этого периода деятельности ученого, профессор И. К. Баженов отмечал, что большой заслугой Михаила Антоновича следует считать внедрение в практику геолого-съемочных работ элементов поисков, что придало работам комплексный характер и позволило в короткий срок оценивать металлоносность картируемых площадей. Вместе с тем большую роль в развитии поисковых исследований сыграло успешное применение М. А. Усовым новых в то время поисковых методов, таких как составление карт шлихового опробования, использование спектрального анализа для целей поисков. Их применение в условиях Западной Сибири оказалось весьма успешным.

Проблема создания минерально-сырьевой базы Кузнецкого металлургического комбината потребовала огром-

ных усилий большого коллектива геологов Западной Сибири, проводивших поисково-разведочные работы на железорудное сырье под общим руководством М. А. Усова. В их выполнении принимали участие его многочисленные последователи и ученики, в том числе Ф. Н. Шахов, А. М. Кузьмин, И. К. Баженов, К. В. Радугин, И. В. Дербиков, Г. Л. Поспелов и многие другие. Результаты таких обширных исследований не замедлили сказаться: в пределах Горной Шории и Кузнецкого Алатау была открыта и разведана довольно многочисленная группа контактово-метасоматических месторождений магнетитовых руд, создавших надежную сырьевую базу для КМК: обеспечившую его местным сырьем. Сам Михаил Антонович детально изучил наиболее интересное в то время Тельбесское месторождение. Проведенные работы позволили оригинально решить вопрос о генезисе контактово-метасоматических месторождений вообще.

Накопленный обширный материал по закономерностям образования и локализации железорудных месторождений М. А. Усов изложил в своих работах [1918, 1927, 1929, 1930, 1933а—г, 1934, 1937, 1944].

В первые же годы существования Сибирского отделения Геолкома по инициативе М. А. Усова было организовано Бюро учета полезных ископаемых Сибири, во главе которого находился крупный знаток минеральных богатств этого региона В. С. Реутовский. Перед Бюро стояла неотложная задача — систематизировать и сделать доступными все литературные, фондовые и архивные данные о полезных ископаемых края. Уже в 1923 г. сотрудники Бюро составили сводку «Полезные ископаемые Сибири», которой долгое время пользовались как основой при выборе районов для постановки поисково-съемочных работ.

В 1935 г. вышла в свет сводная работа М. А. Усова «Геология рудных месторождений Западно-Сибирского края», представляющая собой цикл лекций для работников геолого-разведочной службы Томска. В ней дан краткий обзор тех знаний и научных представлений о рудоносности Западной Сибири, которые существовали в середине 30-х годов. Своеобразным было построение книги. Материал излагался в возрастной последовательности формирования рудных месторождений или, как принято в настоящее время, по металлогеническим эпохам. Это позволило автору увязать последовательность формирования рудных месторождений с общей историей геологиче-

ского развития региона и рассматривать процессы рудообразования в связи с закономерностями развития земной коры.

Работы М. А. Усова по изучению геологии рудных месторождений, как и в других областях геологических знаний, в которых он принимал участие, характеризуются чрезвычайно тесным соединением практической деятельности с теоретическими исследованиями и обобщениями.

В результате выполненных лично и под его руководством исследований железорудных месторождений он обосновал проблему создания надежной местной рудной базы для черной металлургии в Западной Сибири. Как известно, последующие работы полностью подтвердили этот прогноз. Знакомство с полиметаллическими месторождениями Салаирского кряжа, обнаружение закономерной связи их с вулканогенно-осадочной так называемой пещеркинской свитой кембрийского возраста позволили ученому предвосхитить современные представления о вулканогенно-осадочном генезисе колчеданно-полиметаллических месторождений и поставить новую для того времени проблему Рудного Салаира [Усов, 1933в, б].

Работая на посту директора Сибирского отделения Геолкома, М. А. Усов был постоянно связан с педагогической и научно-исследовательской деятельностью в Томском технологическом, а позднее в Томском индустриальном институте. Его разработки теоретических вопросов рудообразования заслуживают самой высокой оценки с позиций современной науки. В короткой статье невозможно обсудить все аспекты деятельности М. А. Усова по разработке этих проблем, поэтому остановимся лишь на некоторых из них. При этом будут рассмотрены только вопросы, связанные с теорией образования эндогенных месторождений.

В основу своих теоретических представлений по различным вопросам эндогенного рудообразования М. А. Усов положил несомненную генетическую связь оруденения с магматическими породами. Магму он рассматривал как единственный источник рудообразующих растворов и рудного вещества. Основной причиной рождения и дальнейшего перемещения магмы в земной коре являются, по его мнению, тектонические движения. Палингенез и анатексис представляют собой главные процессы, приводящие к образованию гранитных магм в условиях абиссальных глубин. Позднее сформированная таким образом маг-

ма поднимается в верхние горизонты земной коры, где она и застывает. В силу условий образования каждая магма сугубо специфична, так как она несет черты тех пород, за счет которых образовалась. Это обстоятельство определяет металлогенические особенности тех или иных интрузий, связанных с различными геологическими эпохами.

Высказанные М. А. Усовым идеи легли в основу современных представлений об источнике рудоносных растворов и рудного вещества при формировании постмагматических месторождений. Большинство исследователей до сих пор считают основным источником вещества коровые магмы, образованные в результате переплавления пород коры.

Вместе с тем нельзя не отметить, что в современную эпоху вопрос об источниках растворов и рудного вещества рассматривается более широко. Проведенные за последние 10—20 лет геохимические и особенно изотопные исследования показывают, что в формировании рудных месторождений принимает участие вещество, имеющее различное происхождение. В отдельных случаях не подлежит сомнению, что в качестве таких источников следует рассматривать вещество верхней мантии. Многие специалисты современности полагают, что основной полезный груз рудоносные растворы получают из боковых пород по мере своего продвижения к местам разгрузки. Наконец, нельзя не учитывать в качестве источника растворов и рудного вещества метеорные воды. Как показывают исследования, при определенных условиях, особенно при формировании месторождений малых глубин, они способны смешиваться с водами магматического происхождения. Да и сами метеорные воды, нагретые до высокой температуры, содержащие углекислоту и металлы, мало отличаются от ювенильных гидротермальных растворов.

Таким образом, в настоящее время за источником вещества признается определенная полигенность и считается, что в каждом отдельном случае вопрос этот должен решаться с учетом конкретной обстановки. Однако и сегодня многие гидротермальные месторождения подавляющим большинством исследователей рассматриваются как постмагматические.

Михаил Антонович полагал, что рудоносность интрузий зависит от первичных свойств магмы. Если она содержит малое количество газообразных компонентов или эти эманации имеют особый состав, то, несмотря на разнообразие геологических условий, в которых происходит кристаллизация магмы, она не создает рудных концентраций.

В начале 30-х годов во всем мире господствовали идеи геологов американской школы. Это было время появления первой классификации рудных месторождений, построенной на генетическом принципе, которая была разработана В. Линдгреном. В основу классификации были положены физико-химические процессы, приводящие к концентрации вещества. Огромную роль сыграли взгляды В. Эммонса, выдвинувшего свою известную батолитовую концепцию, с которой находились в явном диссонансе представления М. А. Усова об условиях рудоносности интрузивных массивов.

Крупнейшим вкладом Михаила Антоновича в теорию рудообразования явилась разработанная им совершенно оригинальная классификация месторождений полезных ископаемых. В отличие от господствовавшей в те годы классификации В. Линдгрена ученый в основу своей систематики положил геологические процессы. Он выделил три крупных подразделения рудных месторождений, соответствующие трем основным типам геологических процессов — эндогенные, экзогенные и метаморфогенные. Это деление сохранилось и в современных классификациях.

Наиболее сложен во всех существующих классификациях это вопрос о дальнейшем подразделении группы постмагматических месторождений, к которым относится огромное количество месторождений черных, цветных, редких и благородных металлов. До настоящего времени он дискуссионен и различными авторами решается неоднозначно.

Полвека тому назад, когда М. А. Усов готовил к выходу в свет свой учебник по рудным месторождениям [1931, 1933а], во всем мире господствовали идеи В. Линдгрена о разделении рассматриваемой группы на эпи-, мезо- и гипотермальные месторождения. Предполагалось, что такое разделение должно было отражать различия месторождений в зависимости от физико-химических условий рудообразования — температуры и давления. Однако в те годы геология не располагала достаточно надежными методиками для определения этих параметров, в связи с чем месторождения к одной из выделенных групп (гипо-, мезо- и эпипотермальные) стали относить исключительно на основании качественного минералогического состава руд.

М. А. Усов в своих трудах показал в высшей степени формальную сущность подобного разделения. Предложенный им принцип классификации постмагматических

(эманационных) месторождений естественно и логично вытекал из его представлений о связи оруденения с магматическими процессами. Все особенности состава и пространственного распределения минерального вещества он связывал с фаціальными условиями формирования материнского интрузивного тела. Он полагал, что магма, возникшая на какой-то глубине, сама создает новое дополнительное поле прогрева, осложняющее те физико-химические условия, которые служили В. Линдгрёну основанием для классификации.

Принцип классификации рудных месторождений по фации глубинности материнских интрузий был высоко оценен В. А. Обручевым. Позже его применил, не ссылаясь на автора, известный немецкий геолог Г. Шнейдерген. Однако, признавая необходимость учитывать глубину источника рудоносных растворов, он не отказался от принципа В. Линдгрёна и чисто формально объединил фации М. А. Усова с группами этого ученого.

В настоящее время в большинстве отечественных генетических классификаций эндогенные месторождения, в частности гидротермальные, характеризуются с учетом фаціальных условий формирования (глубинные и близповерхностные). Это, по-видимому, следует рассматривать как единственно правильный подход к систематизации указанных месторождений, дальнейшее более дробное расчленение которых возможно проводить уже на формационной основе.

Замечательно, что М. А. Усов одним из первых применил в систематике рудных месторождений понятие о рудных формациях. Именно рудные формации явились основой его классификации. Напомним, что среди класса гидротермальных жильных месторождений им были выделены формации: олово-вольфрамовая, золотая, золото-медная, медная, серебросвинцово-цинковая, сереброникель-кобальтовая, уранованадиевая, железомарганцевая и «эффузивная фация жильных месторождений» (в которую включены приповерхностные месторождения золотосеребряной и золототеллуровой формаций). Среди контактовых месторождений он выделил магнетитовую, олово-вольфрамовую и другие рудные формации [1933 г.]. Как известно, содержание понятия о рудных формациях последующими исследователями несколько видоизменялось, но оно прочно вошло в литературу и широко применяется как основа систематик рудных месторождений и металлогенического анализа.

Михаил Антонович скончался в расцвете творческих сил. Его заслуги в области развития геологических наук и организации геологической службы пользуются признанием во всей стране. Первым из числа ученых Сибири он был избран действительным членом Академии наук СССР. Ему удалось сделать то, что дано совершить далеко не каждому, даже очень крупному ученому. Он создал научную школу. Большая группа его ближайших учеников и последователей, включающая таких крупных ученых, как К. И. Сатпаев, Ф. Н. Шахов, Г. Л. Поспелов, И. К. Баженов, А. Я. Булытников и многих других, продолжила развитие плодотворных идей Михаила Антоновича в области геологии рудных месторождений. Эта разработка научного наследия М. А. Усова продолжается и в наши дни новыми поколениями сибирской геологической школы. С результатами их деятельности как в практической, так и в теоретической области мы сталкиваемся повседневно.

ЛИТЕРАТУРА

- Усов М. А. Саралинский золоторудный район.— Вестн. о-ва сиб. инженеров, 1917, № 9-10, с. 1—21.
- Усов М. А. Геологическое строение Абаканского железорудного месторождения Енисейской губ. Томск, 1918, с. 1—28.
- Усов М. А. Тельбесский железорудный район. Историко-геологический очерк.— Изв. Сиб. отд. Геол. комитета, 1927, т. 6, вып. 5. 82 с.
- Усов М. А. Полезные ископаемые. Рудные месторождения. Курс лекций. Томск: изд. Томск. технол. ин-та, 1928. 240 с.
- Усов М. А. Геолого-промышленная характеристика Тельбесского железорудного района.— Горн. журн., 1929, № 8-9, с. 1365—1380.
- Усов М. А. Геологическое строение и запасы железных руд Тельбесского района.— В кн.: Материалы по изучению Сибири. Т. 1. Томск, 1930, с. 1—75.
- Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск: Издатком втузов, 1931. 160 с.
- Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск: Кубуч, 1933а. 200 с.
- Усов М. А. Тельбесская группа железорудных месторождений.— В кн.: Минерально-сырьевая база Кузнецкого металлургического комбината. Томск, 1933б, с. 28—45.
- Усов М. А. Проблема Рудного Салаира.— Вестн. Зап.-Сиб. геол.-развед. треста, 1933в, вып. 4, с. 1—20.
- Усов М. А. Формации месторождений полезных ископаемых Салаира.— Вестн. Зап.-Сиб. геол.-развед. треста, 1933г, вып. 6, с. 1—26.
- Усов М. А. Железные руды.— В кн.: Полезные ископаемые Западно-Сибирского края. Т. 1. Металлы. Новосибирск: ОГИЗ, 1934, с. 6—9.

- Усов М. А. Аллюминиевые руды. Там же, с. 239—253.
- Усов М. А. Геология рудных месторождений Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1935. 86 с.
- Усов М. А. Салаирская база цинково-колчеданных руд.— Разведка недр, 1936, № 12, с. 3—8.
- Усов М. А. Железорудные месторождения Западно-Сибирского края.— В кн.: Труды конференции по генезису руд железа, марганца и алюминия. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1937, с. 161—179.
- Усов М. А. Завершение подготовки минерально-сырьевой базы для черной металлургии Западной Сибири.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1939, № 2, с. 45—52.
- Усов М. А. Месторождения железных руд Хакасско-Минусинского края.— Изв. Томск. индустр. ин-та, 1944, т. 62, вып. 1, с. 19—38.

К. В. РАДУГИН

**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ
УЧЕНИЯ М. А. УСОВА
О ДИАГЕНЕЗЕ ЭФФУЗИВОВ**

М. А. Усовым было заложено новое направление петрографической науки — исследование диагенеза изверженных горных пород, которое касается как излившихся горных пород (эффузивов), так и застывших на глубине пород интрузивного типа. Более детально оно было развито для эффузивных пород. Суть его заключается в том, что изверженные породы проходят свой закономерный путь развития: они возникают при остывании магм из расплавленного состояния, затем теряют свой первичный облик под влиянием меняющихся физико-химических условий. Например, стекловатая лава превращается в фельзит или афанит, где стекло уже раскристаллизовалось. Это и было названо М. А. Усовым диагенезом.

В этом процессе необходимо, прежде всего, подчеркнуть наиболее примечательный факт: застывание изверженной горной породы происходит при очень высокой температуре, до тысячи и более градусов с появлением твердых фаз. Порода потом постепенно охлаждается или до температуры воздуха (если имеется лавовый поток), или до температуры боковых пород. Последняя может быть довольно высокой.

Перерождение, т. е. диагенез горных пород, являющийся следствием их длительной жизни, происходит при

разных условиях. Особенно своеобразен этот процесс в лавовых потоках. Здесь лава быстро застывает, образуется вулканическое стекло, порой без всяких выделений фенокристаллов. Вулканическое стекло (обсидиан и др.) на поверхности сравнительно быстро охлаждается до температуры атмосферы. Получается твердый раствор, пересыщенный теми соединениями, которые ранее были в расплаве в значительном количестве. Распад такого раствора затягивается на десятки миллионов лет. Встречаются третичные базальты, в которых сохранилось стекло. Термин *палеобазальт* был применен М. А. Усовым [1931] первоначально к горным породам мелафировой подковы Кузбасса, имеющим мезозойский возраст (около 150 млн. лет). Эти эффузивные породы находятся в первичной фазе состояния, так как в них имеется стекло.

Базальты могут испытать воздействие газовых эманацій, горячих растворов. Они проходят через горные породы, но дают изменения совсем иного рода, чем диагенез. Диагенез идет повсюду, а действие горячих растворов наблюдается преимущественно около трещин. Гидротермальные образования в жилах изучены хорошо прежде всего по минералогическому составу, а затем и по последовательности выделения минералов той или иной стадии минерализации. Таким образом, по составу и последовательности образования можно отличать минералы гидротермальных или пневматолитовых жил от диагенетических.

Исходной точкой диагенетического процесса в эффузивах является *фаза первичного их состояния* со стеклом. В этой фазе плагиоклаз характеризуется высокой степенью свежести. Особенно показательна свежесть оливина, который легко изменяется под влиянием последующих вторичных процессов. В мезозойской толще, включающей палеобазальты мелафировой подковы Кузбасса, имеются бурые, а не каменные угли (и не лигниты). В связи с этим небезынтересно поискать переход палеобазальтов в породы диагенетической фазы в мезозое Якутии, там, где заключенные в ней бурые угли превратились в пласты каменного угля.

Вслед за фазой первичного состояния рано или поздно появляется *диагенетическая*, когда в горных породах стекло отсутствует.

Чем отличается диагенетическая раскристаллизация стекла от возможной первичной тонкой кристаллизации магмы в момент ее застывания? Ответить на этот вопрос

довольно трудно, так как экспериментально он не разработан. Разумеется, процесс застывания идет при очень высокой температуре, но чуть ниже температуры жидкой магмы или лавы. Различия в микроструктуре фельзита диагенетического и «магматогенного» ничтожны и, возможно, не уловимы. Решение вопроса облегчается, если распад стекла сопровождается выделением тонкой гематитовой сыпи. В таком случае основная масса диагенетизированной горной породы (афанит или даже фельзит) получает ясный фиолетовый или лиловый оттенок.

Из твердой жидкости (стекла) могут выпадать и диагенетические силикатные кристаллы. Условия диагенетической раскристаллизации, естественно, многообразны. Например, базальты со стеклом могут попасть сравнительно быстро на глубину до 5 тыс. м. Если Ключевская сопка (высотой около 5 тыс. м) образовалась за 5 тыс. лет, то в ее основании физико-химическая обстановка находящегося там стекла могла значительно измениться. На глубине 5 км при нормальной геотермической ступени может быть температура 150°C, при которой стекло могло подвергаться перекристаллизации. Этот процесс необходимо проверить экспериментально. Сейсмические вибрации можно было бы создать в лабораторной обстановке. Интересно посмотреть, как будут они сказываться на стекле при различном давлении, и не только при нормальной, но и при значительно повышенной температуре.

Региональный характер процессов диагенеза эффузивов в Западной Сибири установлен картированием, показавшим повсеместное распространение диагенетической фазы состояния в девонских эффузивах Минусинской котловины, Кузбасса и др.

Методика изучения фаз состояния эффузивов заключается в тщательных полевых наблюдениях и микроскопических исследованиях. Они нуждаются в дополнительных геохимических и геофизических исследованиях и экспериментах. Систематика разновидностей диагенеза эффузивов возможна с использованием перехода одной твердой фазы в другую.

М. А. Усов считал возможным определение относительного возраста горных пород и геологических формаций с использованием фаз первичного и диагенетического состояния. Так, в платформенных условиях Тунгусского угольного бассейна мезозойские траппы находятся в фазе первичного состояния. То же отмечалось для мезозойских траппов мелафировой подковы Кузбасса. Но девонские

эффузивы окраин Салаира и Кузбасса, Минусинской котловины, Горного Алтая и другие находятся в фазе диагенетического состояния.

Возникает задача сравнительного анализа фаз состояния в зависимости от тектонических условий района, где изучаются эффузивы: на платформе, в условиях сибиретипной структуры или в подвижной складчатой зоне (с учетом разного возраста альпийского, тихоокеанского, герцинского и более древнего тектогенеза). Вместе с тем появляется и другой вопрос: как меняется переход из фазы первичного состояния в фазу диагенеза и зеленокаменного перерождения с глубиной (при повышении температуры и давления).

Диагенез эффузивов является важным не только с теоретической точки зрения, но и при решении практических поисковых задач. Допустим, магма проходит на глубине через железорудную залежь: она рассекает эту залежь и обогащается в контактах с ней растворенным рудным веществом — железом. Если образованная дайка в своей эндоконтактной зоне содержала стекло, то железо при старении выпадает из твердого раствора в виде гематита, и краевые части послерудной дайки окрашиваются в красноватый оттенок. Диагенез ассимиляционных зон послерудных даек, проявляющийся около пересечения руды, становится поисковым критерием.

Приведем другой еще мало изученный пример поискового значения диагенеза в интрузиях, рассекающих марганцевые руды, — возможный распад твердых пересыщенных растворов в эндоконтактной зоне с образованием кристаллов силикатов марганца. Твердый раствор в эндоконтактной зоне (стекло) распадается; из него выпадают бустамит, родонит и марганцевый гранат, и можно заключить, что марганцем была пересыщена эндоконтактная ассимиляционная зона интрузии.

Новый стимул к разработке вопроса о природе диагенеза земных эффузивов дают материалы о древнем (более 3 млрд. лет) возрасте лунных базальтов, в которых сохранилось первичное фазовое состояние.

**РАЗВИТИЕ ИДЕЙ М. А. УСОВА
ОБ ЭЛЮВИАЛЬНО-МЕТАТЕТИЧЕСКИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**
(на примере золота)

Выветриванию и условиям возникновения элювиальных рудных концентраций М. А. Усов уделял особое внимание и даже полагал, «что изучение геологических процессов нужно начинать с внешней геодинамики» [1950, с. 108]. Но «как это ни странно,— отмечал он,— экзогенные процессы, вообще протекающие, можно сказать, на наших глазах, гораздо менее понятны нам в деталях до сих пор, чем многие образования, получившиеся на большей глубине и при необычных для нас условиях» [1933, с. VIII]. Два года спустя, описывая рудную формацию древней коры выветривания, М. А. Усов вновь констатировал, что в отношении «элювиальных месторождений в нашем распоряжении имеется мало материала» [1935, с. 81]. Проблемы экзогенного рудообразования находились в поле зрения Михаила Антоновича в течение всей его жизни. Посмертное издание учебного пособия «Введение в геологию» [1950] является прекрасной иллюстрацией многолетних и оригинальных исследований ученого в области гипергенных процессов.

Идеи М. А. Усова о происхождении экзогенных месторождений, об избирательном выветривании пород, о связи зональности кор выветривания с климатической зональностью и геологическими эпохами развития земли и по многим другим актуальным проблемам экзогенной геологии имели важное значение в дальнейшем развитии целого ряда новых научных направлений, таких как формационный анализ гипергенных образований; методы картирования окисленных рудных выходов и оценки по ним перспектив эндогенного оруденения; геохимические методы поисков погребенных месторождений по их гипергенным аномалиям и др.

Наиболее полно достижения по этим направлениям изложены в работах Ю. А. Кузнецова, Ф. Н. Шахова, В. П. Казаринова и других, которые, в свою очередь, активизировали научную мысль и способствовали постановке исследований физико-химических условий экзогенного рудообразования на современном аналитическом

уровне. Наряду с распространенными железом, алюминием, марганцем и никелем в сферу исследований вовлечены рассеянные, благородные и радиоактивные элементы, обладающие низким кларком, но имеющие большое народнохозяйственное значение. В итоге изучены основные закономерности гипергенного перераспределения многих элементов и выявлены новые типы их экзогенных промышленных месторождений, что покажем на примере наиболее близких автору исследований по экзогенной геологии и геохимии золота.

Все экзогенные месторождения М. А. Усов [1933] по способу концентрирования металлов расчленил на осадочные, обломочные и элювиально-метатетические. Предметом обсуждения в статье являются элювиально-метатетические месторождения, которые по условиям формирования экзогенных руд он подразделял на элювиальные, метатетические и вторичного обогащения рудных месторождений.

Элювиально-метатетические месторождения ученый генетически связывал с химическим выветриванием горных пород, содержащих более или менее заметные количества металла, или с окислением сульфидных руд и накоплением в элювии рудных концентраций, заслуживающих промышленной разработки. Что касается золота, то главным и, пожалуй, единственным в его времена представителем элювиально-метатетических промышленных его скоплений считались зоны окисления рудных месторождений. Поэтому в классификации М. А. Усова элювиально-метатетические промышленные концентрации золота были представлены только одной группой — группой вторичного обогащения рудных месторождений. При вторичном обогащении, писал он, «получаются как бы новые месторождения с иным распределением металлов и с образованием иных минеральных соединений» [1933, с. 157]. Они имеют важное экономическое значение и порой представляют главную промышленную ценность золотоносного участка.

Во второй половине нашего столетия выявлены новые промышленные типы так называемых «большеобъемных» эндогенных месторождений в черносланцевых толщах, в гранитоидах и других породах. Изменилось понятие о зоне окисления как о геологическом теле, к которому вслед за Ф. Н. Шаховым [1960] сейчас относят не только окисленные руды, но и околорудно-измененные породы, претерпевшие сернокислое выветривание. Созданы высокочувствительные методы анализа минералов, пород и руд

на золото. Все это позволило расширить исследования по гипергенной геологии и геохимии золота и выявить новые типы его элювиальных месторождений, которые охватывают уже все генетические группы элювиально-метатетических месторождений, по классификации М. А. Усова. Они подразделяются нами на следующие типы: 1) зон окисления рудных месторождений; 2) кор выветривания слабозолотоносных минерализованных зон; 3) кор выветривания эндогенных ореолов золоторудных полей; 4) переотложенных кор выветривания и зон окисления; 5) осадочные, генетически связанные с хемогенным переотложением золота из кор выветривания золотоносных пород и руд.

Первые три типа генетически связаны с вторичным и остаточным обогащением золотом продуктов химического выветривания; четвертый — с гравитационной механической дифференциацией выветрелого материала эродированных золотоносных выходов; пятый — с экзогенным перераспределением золота в системе область корообразования — область осадконакопления и является промежуточным между осадочными и элювиально-метатетическими месторождениями, по классификации М. А. Усова.

1. Месторождения зон окисления — издавна известный и наиболее полно изученный тип экзогенного золотого оруденения. Масштабы перераспределения и степень концентрирования золота в процессах окисления определяются главным образом формационной принадлежностью первичных руд, длительностью и сложностью истории гипергенного развития. Анализ фактического материала и обобщение литературных данных показывают, что промышленное гипергенное концентрирование золота наблюдается лишь в зонах окисления золоторудных и золото-содержащих месторождений, в первичных рудах или околорудно-измененных породах которых количество сульфидов превышает 15%. В такой окисленной зоне может быть несколько горизонтов с повышенной концентрацией золота, но наиболее отчетливо выражены два из них: в верхней части зоны окисления вблизи современного уровня грунтовых вод и в верхней части зоны цементации, формирование которой, по заключению М. А. Усова (1933), происходило в дочетвертичные эпохи. К зонам окисления комплексных золотосодержащих сульфидных месторождений, особенно медно-колчеданной формации, приурочены самые богатые гипергенные руды. Здесь ко-

эффицент концентрации золота, по нашим наблюдениям, на месторождении Майкаин «С» достигал 118, тогда как на золоторудных — не превышал 12 [Росляков, 1981].

2. Месторождения кор выветривания слабозолотоносных минерализованных зон известны на примерах накопления золота в латеритных корах выветривания, развитых по сульфидизированным слабозолотоносным ($Au \approx 0,5$ г/т) магнетитовым скарнам, гранитам и гнейсам [Caffee, 1972; Razafimanantsoa, 1973; и др.]. Промышленные гипергенные концентрации золота выявлены и в менее зрелых каолиновых корах выветривания пиритизированных слабозолотоносных сланцев [Ниязов, Щербик, 1971]. М. Н. Альбов [1972] показал, что развитие мощной коры выветривания на березитах, листовенитах и других гидротермалитах Урала, а также на различных по составу сланцах и зонах смятия с рассеянной в них пиритизацией и непромышленной золотоносностью (десятые доли грамма на тонну) обуславливает повышение концентрации золота до 2—7 г/т в основании профиля сыветривания на глубине 20—60 м от дневной поверхности. Рассматриваемым месторождениям свойственно линейное простираение, контролируемое ориентировкой слабозолотоносных минерализованных зон. Все это позволило М. Н. Альбову впервые выделить новый тип элювиального золотого оруденения, генетически связанного «с формацией глубокой линейной коры выветривания слабозолотоносных горных пород» [1972, с. 61].

В настоящее время данный генетический тип месторождений уже эксплуатируется. Особое значение приобретает золотоносность кор выветривания карстового типа. Карстовые образования нередко служат источником сырья на бокситы, огнеупорные глины и другие нерудные полезные ископаемые. В случае развития карста на слабозолотоносных минерализованных зонах, как это наблюдается на Салаирском кряже и в Казахстане, в элювии и незначительно смещенном материале могут сформироваться обогащенные золотом горизонты, которые рентабельно отрабатывать при комплексном извлечении полезных компонентов.

3. Месторождения кор выветривания эндогенных ореолов золоторудных полей — это новый, наименее изученный, но перспективный тип элювиальных месторождений золота. Его происхождение связано с выветриванием пород эндогенных ореолов рудных полей, характеризующихся невысоким содержанием золота (порядка 0,05—0,1 г/т) и

большими площадями. Максимальные концентрации золота в горизонтах вторичного обогащения достигают граммов на тонну при относительной выдержанности по мощности и площади. На примере Казахстана можно полагать, что наиболее перспективными на элювиальные месторождения являются золоторудные поля с хорошо развитой корой выветривания, перекрытой предохраняющими ее от эрозии и эпигенетического преобразования аллохтонными отложениями мощностью порядка 15—20 м и более.

4. Месторождения переотложенных кор выветривания и зон окисления относятся к обломочным, точнее к группе россыпных месторождений, по классификации М. А. Усова. Но поскольку в литературе среди россыпей в качестве самостоятельного типа выделяются «элювиальные россыпи», рассмотрим их место в геолого-генетической классификации М. А. Усова. Под «элювиальной россыпью» понимаются «как топографически не смещенные» [Шило, 1981] или «без существенного смещения» [Нестеренко, 1977] рыхлые образования, содержащие то или иное количество рудных минералов и повторяющие «на поверхности пространственное положение россыпеобразующих рудных формаций» [Шило, 1981, с. 194]. Это есть не что иное, как элювиально-метатетические, а не россыпные месторождения в классификации М. А. Усова! Нам представляется, что во избежание отмеченного противоречия к «элювиальным россыпям» следует относить лишь россыпи, генетически связанные с формацией переотложенной коры выветривания. Такие россыпи нередко пространственно разобщены с выходом рудообразующей рудной формации и могут быть значительно удалены от нее.

5. Осадочные месторождения, генетически связанные с хемогенным переотложением золота в процессе формирования кор выветривания на золотоносных породах, недостаточно изучены. Как известно, корообразование сопровождается накоплением осадочных пород в области аккумуляции. При корообразовании на золотоносных породах за пределы профиля выветривания мигрирует до 50% и более от валового содержания золота исходных пород. Этот элемент может поступать в область осадконакопления и создавать на геохимических барьерах (восстановительном, нейтрально-карбонатном, нейтрально-сульфатном, сорбционном и биогенном) по периферии области аккумуляции вблизи границы с питающими ее золоторудными полями хемогенные и биогенные гипергенные рудные концентрации. Когда источником питания служат

латеритные коры выветривания, наибольшее обогащение золотом, по-видимому, будет приурочено к нижней части осадочной толщи данного эрозионного цикла; при каолиновом источнике — к верхней части осадочного разреза. Месторождения описываемого типа по теоретическим данным могут обладать крупными запасами, но целенаправленных их поисков еще не проводилось. В области аккумуляции кроме хемогенного золота могут быть обнаружены древние золотоносные россыпи, связанные с денудацией горизонтов вторичного золотого обогащения и эндогенных руд и приуроченные к отложениям завершающих стадий осадочного цикла.

Описанные элювиальные золоторудные месторождения могут служить как самостоятельным объектом добычи благородного металла, так и источником питания для золотоносных россыпей. Поэтому их следует рассматривать и как россыпеобразующую рудную формацию. Дальнейшее изучение геологии зоны гипергенеза и протекающих в ней процессов, несомненно, приведет к новым научным и практическим открытиям. И полвека спустя остается в силе призыв М. А. Усова «к более глубокому ознакомлению со всеми теоретическими вопросами в связи с изучением форм рельефа и рыхлых отложений... а также к более тщательному сбору соответствующих материалов и к их надлежащей проработке» [1934, с. 81].

ЛИТЕРАТУРА

- Альбов М. Н. Закономерности распределения золотого оруденения в жильных месторождениях. — В кн.: Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск: Наука, 1972, с. 55—61.
- Нестеренко Г. В. Происхождение россыпных месторождений. Новосибирск: Наука, 1977. 312 с.
- Ниязов А. Р., Щербик С. С. Древние золотоносные коры выветривания сланцев на Южном Урале. — В кн.: Геология и поиски месторождений редких и цветных металлов. Свердловск, 1971, с. 85—89.
- Росляков Н. А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 1981. 238 с.
- Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск: Кубуч, 1933. 200 с.
- Усов М. А. Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1934. 87 с.
- Усов М. А. Геология рудных месторождений Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1935. 87 с.
- Усов М. А. Введение в геологию. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1950. 167 с.

- Шахов Ф. Н. Морфологические черты зон окисления. — В кн.: Вопросы геологии рудных месторождений Западной Сибири. Новосибирск: РИО СО АН СССР, 1960, с. 3—42.
- Шило Н. А. Основы учения о россыпях. М.: Наука, 1981. 383 с.
- Caiffee M. A. Distribution and abundance of gold and other selected elements in altered bedrock, Empire, Mining District, Clear Creek County, Colorado. — Geol. Surv. Bull., 1972, N 1278—C, III, 23 p.
- Razafimanantsoa. Contribution aux etndes de reconnaissance des gits auriferes de la region de Masokoamena. — Rapp. Aunn. Surv. Geol., 1973, p. 139—142.

Ю. Г. ЩЕРБАКОВ

РАЗВИТИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО АСПЕКТА ПРЕДСТАВЛЕНИЙ М. А. УСОВА О РУДООБРАЗОВАНИИ

М. А. Усов был ученым широкого кругозора, большой научной интуиции, прогрессивных и во многом оригинальных взглядов. «Невозможно пройти мимо основного направления, данного М. А. Усовым, — писал Ф. Н. Шахов, — решать прогнозные вопросы, учитывая все сложные связи месторождений полезных ископаемых с геологическими процессами, со стратиграфией, тектоникой и геохимией» [1960, с. 403]. Сейчас, спустя столетия после высказываний М. А. Усова по теории рудообразования, нам интересны его взгляды, справедливость которых подтверждается современными исследованиями, но еще больше те из них, которые и сегодня помогают находить верные геологические решения.

Наиболее полно сфокусированы представления М. А. Усова о рудообразовании в его подходе к систематике рудных месторождений. Ее особенность — системный подход к последовательному выявлению ряда причин совместной концентрации элементов в месторождениях. При этом за основу взято подразделение их на эндогенные, экзогенные, метаморфогенные и неясного происхождения. Следующим было более дробное деление по ведущему процессу рудообразования. В частности, эндогенные месторождения были разделены на магматические, пегматитовые и эманационные. Эманационные месторождения, по М. А. Усову [1931, с. 3], «обязаны своим происхождением отложению рудных веществ из газообразных

или жидких эманаций, выдыхаемых кристаллизующейся магмой и выносящихся из нее в растворе металлические соединения». Разделить пневматолитовые и гидротермальные месторождения, как это делали многие немецкие и скандинавские геологи, а у нас — А. Е. Ферсман (1955), М. А. Усов не считал возможным на том основании, что «конкретные месторождения представляют обычно сложные образования нескольких фаз, последовательно приходящих на данный горизонт при общем понижении температуры». Его термин «эманационные» широкого применения не получил, но он, пожалуй, более удобен и сейчас при современном понимании процессов рудообразования, чем «гидротермальные» или «постмагматические», для обозначения месторождений, образовавшихся из горячих растворов любого, в том числе немагматического, происхождения и разного фазового состава. Эманационные месторождения М. А. Усов подразделял по форме рудных тел, как это было принято в прежних европейских систематиках, считая вместе с тем образование каждого из четырех выделенных им классов — жильных, контактовых, метасоматических и вкрапленных рудных месторождений, — характерным для совершенно различных геологических условий. Важнейшие отличия условий локализации оруденения М. А. Усов связывает с фациальной принадлежностью источника металлов — рудоносного интрузивного тела. Он отказывается от упрощенного подразделения месторождений геологами американской школы на гипо-, мезо- и эпitherмальные, поскольку температура и давление не всегда прямо связаны и их соотношения очень меняются в ходе рудообразования. Для дальнейшего геохимического анализа представляется перспективной отмеченная М. А. Усовым зависимость состава элементов, совместно концентрирующихся в рудах, от фациальности источника. Так, месторождения, связанные с крупными массивами абиссальной фации, отличаются наиболее простым составом, приближающимся к идеальным парагенетическим ассоциациям элементов, характерным для довольно узких температурных интервалов рудоотложения, установленных частично еще Эли де Бомоном в 1847 г. и использованных В. Эммонсом в 1924 г. для построения своих парагенетических рядов. Для глубокой фации М. А. Усов выделил следующие парагенетические ассоциации элементов, названные им формациями, конечными и главными классификационными единицами: олововольфрамово-молибденовую, золотую, золотомедную,

серебросвинцово-цинковую, сереброникель-кобальтовую, уранованадиевую, железомарганцевую, ртутную и сурьмяную. Для месторождений, связанных с гипабиссальной фацией источника, он считал характерным наложение близких соседних ассоциаций, и для руд эффузивной, и в частности жерловой и дайковой, фаций он подчеркивал парагенезис высоко- и низкотемпературных минералов, наибольшее пространственное совмещение формаций, разделяющихся при углублении источника и расширении на глубину изотермических интервалов рудоотложения. Возрастание попутно с наложением парагенетических ассоциаций общей концентрации металлов он считал характерным для полиметаллических месторождений, связанных именно с вулканической фацией. В качестве геохимических отличий минералов, образовавшихся в разных фациях, М. А. Усов отмечал характерную высокопробность золота в жилах глубоких фаций и понижение его пробности в месторождениях гипабиссальной и особенно вулканической фации.

Представления М. А. Усова о рудообразовании, как и у большинства современных ему геологов, основывались на признании им генетической связи эндогенных месторождений с магмой как с единственным источником рудообразующих растворов. В отличие от господствовавших тогда монофилетических представлений Михаил Антонович придерживался взгляда о полифилетичности магм, связывая возникновение гранитоидов с палингенезом и анатексисом, завершающими складчатость в зонах геосинклинальных погружений. Основные же магмы, по М. А. Усову, возникают на больших глубинах при уменьшении давления вследствие растяжений и достижения этих зон тектоническими трещинами. Он обращал внимание на незначительный размер большинства рудных тел в отличие от обыкновенных горных пород, слагающих заметные части земной коры и, опираясь на данные по среднему их составу по Кларку и Вашингтону, подчеркивал незначительность содержаний в породах большинства металлов и их распыленность в литосфере. «Нужны,— писал он,— особые условия для более или менее заметной концентрации их соединений, чтобы последние могли добываться, как руды, с промышленной выгодой» [Усов, 1934, с. 2]. Эти способы концентрации металлов, определяющие генезис месторождений, он считал, и должны быть положены в основу естественной их классификации.

Эманационные месторождения отличаются наибольшим разнообразием составов и вместе с тем условий формирования. Подход М. А. Усова к их разделению в зависимости от фациальности рудогенерирующего магматического источника помогает лучше понять эти условия, если определить степень разобщенности рудных концентраций со своим источником. Для этого необходимо воспользоваться выводами Г. Л. Поспелова [1963] об основных стадиях, фрагментах и уровнях развития термогидросистем — корневом, стволовом и апикальном. Первому из них, корневому уровню, практически совпадающему с источником, соответствуют участки наиболее бедной и минералогически самой простой вкрапленно-прожилковой минерализации, в которых только начинаются мобилизация и концентрирование рудного вещества, из вмещающих магматических или осадочных пород. Второму — ствольному — отвечает жильный этап развития эманационной системы с резко возросшей концентрацией рудных компонентов и более широким их парагенезисом, особенно в участках столбового обогащения. На этом этапе лучше всего проявлена вертикальная зональность отложения рудных минералов тем более растянутая, чем глубже расположен рудогенерирующий источник и чем больше геотермическая ступень. Третий — апикальный — фрагмент отвечает штокверку, в который часто переходит по восстанию жильная система с приближением к поверхности. Это наиболее обогащенная металлами и вместе с тем самая удаленная от своего источника часть эманационной рудной системы.

Уточнить закономерность общей пространственной и генетической связи разных типов рудных тел позволяют выявление и сопоставление закономерной эволюции их состава относительно рудогенерирующего субстрата. Среди магматических пород и месторождений содержания и соотношения элементов более всего отличаются в самых ранних придонных и в самых поздних апикальных продуктах кристаллизации. Первые имеют самые низкие для данного типа магматических пород значения относительных коэффициентов концентрации (ОК) геохимически родственных элементов, вторые — самые высокие. Первым соответствуют раннемагматические месторождения раннегеосинклинальных стадий развития коры — хромитовой и платиновой рудных формаций, по В. А. Кузнецову (1973, 1975); вторым — апомагматические или, точнее, апогранитные месторождения редкометальной антони-

товой формации поздних стадий металлогенического развития.

Эманационные месторождения генетически подразделяются по форме рудных тел и геологической позиции, составу рудных формаций и соотношениям в них металлов — метасоматические и жильные [Шахов, 1962, 1964, 1966; Смирнов, 1976]. Среди тех и других также четко различны наименее и наиболее разобщенные со своими источниками. Наименее разобщенные метасоматиты — контактовые месторождения, они образуют, например, скарново-магнетитовую формацию с более низкими значениями ОК многих пар элементов в рудах, чем в материнских магматических породах, что свидетельствует об остаточном их характере. Повышение ОК многих пар элементов отмечено нами в «перемещенных», по Ф. Н. Шахову [1964], метасоматитах; еще на порядок возрастает оно в жильных месторождениях и достигает наибольших значений в максимально разобщенной с источником и наиболее богатой по содержаниям металлов их апикальной жильно-штокверковой фации. Наибольшие амплитуды ОК и содержания элементов наряду с максимальными по разнообразию их ассоциациями и концентрациями в сливных колчеданных рудах отмечаются в метасоматических месторождениях вулканической и субвулканической фаций, где, по М. А. Усову, происходит совмещение или телескопирование всех металлов, присущих данному типу магм.

Помимо отмеченной зависимости рудных формаций от среды и фации проявления перераспределения и концентрирования металлов особого внимания заслуживает анализ обусловленности их общим ходом и уровнем геологического и геохимического развития земной коры. Такая связь определяется прежде всего степенью концентрации рудообразующих металлов в комплексах осадочных и магматических пород, которые, вовлекаясь в область метаморфизма, магмообразования и эманационной деятельности, становятся рудогенерирующими. Самая общая тенденция их геохимического развития при этом характеризуется постепенным возрастанием в породах и рудах в ходе каждого тектономагматического цикла общей и относительной концентрации элементов, все более центробежных и подвижных [Щербаков, 1976].

В рамках небольшой статьи нет возможности достаточно подробно рассказать и тем более аргументировать всю глубину и все разнообразие подходов к раскрытию природы рудообразования и к использованию современной

геохимической информации для прогнозирования, поисков и оценки месторождений. Автор стремился лишь показать насколько современны взгляды М. А. Усова и целеустремленность привлечения им всех доступных знаний для решения прогнозных вопросов, а следовательно, и развития учения о полезных ископаемых.

На этой основе можно сформулировать идею закона генетической и пространственной связи всех геологических, в том числе рудных, формаций. Это идея о закономерно устойчивой структуре геохимического баланса их составов. Воспроизвести этот баланс и его структуру позволяют выявленные закономерные отличия соотношений, контролирующиеся периодическим законом элементов и их геохимической систематикой, и концентраций элементов в каждом типе пород и месторождений. Эти содержания и отношения служат геохимическими паспортами месторождений и рудных формаций, отражая важнейшие особенности их происхождения, связи друг с другом, с вмещающими и подстилающими комплексами пород и всей геологической историей рудного района. Прийти к такому выводу позволило точное определение М. А. Усовым главных геологических факторов эндогенного рудообразования — состава магм, фаціальности их формирования, положения месторождений относительно источника, т. е. разобщенности областей выноса и концентрации элементов, типа процессов рудообразования. Не менее точно была сформулирована им принципиальная обусловленность всеми этими факторами основных параметров рудных месторождений — формы рудных тел в связи с их генезисом, масштабов оруденения и главное — их формационной принадлежности. Продолжение исследований в этом направлении намечает пути совершенствования принципов и приемов локальной прогнозной оценки рудных полей на глубину, а вместе с тем и дальнейшего развития теории рудообразования.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов В. А. Магматизм и рудные формации. — В кн.: Проблемы магматической геологии. Новосибирск: Наука, 1973, с. 309—317.
- Кузнецов В. А. Генетические ряды и серии рудных формаций. — В кн.: Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых. Ташкент: Фан, 1975, с. 6—14.
- Поспелов Г. Л. Геологические предпосылки к физике рудоконтролирующих флюидопроводников. — Геол. и геофиз., 1963, № 3, с. 18—39; № 4, с. 24—41.

- Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. 679 с.
- Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск: Издатком втузов, 1931. 158 с.
- Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936. 209 с.
- Ферсман А. К. Геохимические концентры пневматолитов и гидротермалитов.— В кн.: Избранные труды. Т. III. М.: Изд-во АН СССР, 1955, с. 594—607.
- Шахов Ф. Н. Идеи М. А. Усова в области геологии полезных ископаемых.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 395—403.
- Шахов Ф. Н. Принципы систематики эндогенных месторождений.— Геол. и геофиз., 1962, № 10, с. 114—131.
- Шахов Ф. Н. Геология жильных месторождений. М.: Наука, 1964. 220 с.
- Шахов Ф. Н. Принципы формаций в систематике месторождений, созданных горячими растворами.— В кн.: Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1966, с. 41—46.
- Щербаков Ю. Г. Геохимическая эволюция и рудные формации.— В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск: Наука, 1976, с. 217—229.
- Щербаков Ю. Г., Золотухин В. В., Кузнецов В. А. и др. Коэффициенты концентрации элементов как источник информации об условиях рудообразования.— Геохимия, 1980, № 11, с. 1662—1673.

Е. Е. МИЛАНОВСКИЙ

ПУЛЬСАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА ГЕОТЕКТОНИКИ, ЕЕ СТАНОВЛЕНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

В богатом научном наследии Михаила Антоновича Усова особое место принадлежит его геотектонической концепции саморазвития Земли, важнейшим элементом которой является представление о чередовании в геологической истории нашей планеты фаз сжатия и растяжения, т. е. о циклическом, пульсационном характере ее развития. Эти идеи длительно вынашивались ученым, но особенно увлекли его в последние годы его рано оборвавшейся жизни. К сожалению, они были лишь относительно кратко изложены в некоторых работах — в докладе «Сжатие и расширение в истории Земли», представленном на XVII сессию Международного геологического конгресса в Москве [1937], в книге «Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края» [1936], в учебном пособии

«Структурная геология» [1940], а также в посмертно опубликованной статье «Геотектоническая теория саморазвития материи Земли» [1940], представляющей конспективный набросок задуманной, но не осуществленной ученым монографической работы, посвященной общим проблемам геологического развития Земли.

Идея геопульсаций, выдвинутая в самом начале нашего века и поддержанная выдающимися геологами в 20-х и 30-х годах, а впоследствии почти оставленная и полузабытая, спустя столетия вновь привлекает внимание и широкий интерес исследователей как в нашей стране, так и за рубежом как возможный путь преодоления противоречий между фиксистскими и мобилистскими концепциями.

В предлагаемой работе мы проследим развитие пульсационной гипотезы, определим ее место в арсенале современных теоретических идей в геологии. Возможность изменений размеров Земли в геологическом прошлом допускалась многими геологами уже в середине XIX в. Однако раньше всего было высказано предположение о последовательном сокращении ее объема (Эли де Бомон), которое было созвучно с господствовавшей космогонической гипотезой Канта—Лапласа о постепенном охлаждении Земли и давало естественное объяснение природы широко распространенных в земной коре складчатых структур. Значительно позднее были высказаны альтернативные предположения о возможности расширения Земли в ходе ее развития [Быханов, 1877]. Но подобные идеи долгое время не привлекали к себе внимания, вероятно, потому что проявлениям растяжения в земной коре придавалось гораздо более ограниченное и локальное значение по сравнению с деформациями сжатия.

Лишь в начале XX в. немецкий геолог А. Ротплетц опубликовал статью «О возможности снять противоречия между гипотезами контракции и экспансии» [Rothpletz, 1903], в которой высказал предположение о чередовании в истории Земли эпох сжатия (фазы складчатости) и растяжения (фазы вулканизма). Эта идея не встретила поддержки, так как казалась чисто умозрительной и не могла найти в то время достаточного фактического подтверждения¹. Существенное значение для последующего развития

¹ Показательно, что в известной сводке по геотектоническим гипотезам Ф. Нёльке [Nölke, 1924] эта гипотеза, как и вообще идея «о пульсациях» Земли, не упоминается.

и обоснования этой идеи имело установление периодичности и глобального характера проявления деформаций сжатия в земной коре и, прежде всего, разработанное выдающимся немецким тектонистом Г. Штилле в 20-х годах учение о фазах складчатости [Stille, 1924]. В те же годы ирландский геофизик Джоли [Joly, 1924], развивая мобилистские идеи Вегенера, высказал мысль о том, что предполагаемые этим ученым горизонтальные перемещения континентальных глыб происходят не непрерывно, а лишь в отдельные эпохи, когда вследствие накопления тепловой энергии радиоактивного распада в подкоровом субстрате последний расплавляется и расширяется. В подобные эпохи континентальная кора начинает дробиться, ее глыбы (плиты) отрываются одна от другой, под влиянием ротационных и приливных сил приходят в движение и скользят по своему расплавленному субстрату. При этом обнажаются некоторые его участки, ранее покрывавшиеся континентальными плитами, что усиливает его теплоотдачу. Постепенно субстрат охлаждается, застывает, уменьшается в объеме, а континентальные глыбы испытывают деформации сжатия и снова «вмерзают» в него. Затем цикл разогревания субстрата и перемещения континентальных глыб повторяется и т. д. Таким образом, Джоли ввел в геологию идею о термических (фаза разогрева и разуплотнения субстрата и фаза последующего сжатия) и соответствующих им тектонических циклах развития Земли (фаза растяжения и раздробления земной коры, фаза горизонтальных перемещений и, наконец, фаза сжатия в наиболее податливых зонах). Эти представления поддержал крупнейший советский геолог А. Д. Архангельский [1929], писавший в предисловии к переводу книги Джоли, что «в жизни земной коры красной нитью проходит чередование эпох, в которые эта кора испытывает грандиозное сжатие, с эпохами, в которых ярко проявляются не менее мощные растягивающие усилия», что по существу является четкой формулировкой идеи геопульсаций.

Идею чередований сжатия и растяжения литосферы, складчатости и вулканизма, вызванных периодически усиливающимися пульсационными вихреобразными движениями в подстилающем ее жидком магматическом слое, развивал в течение многих лет русский геолог М. А. Боголепов [1922; Bogolepov, 1909, 1930]. Интересно, что существование кратковременных фаз растяжения литосферы, требующее быстрого расхода огромного количества энергии, по его предположению, могло быть обусловле-

но периодическими импульсами ее поступления из мирового пространства. В 30-х годах идея геопульсаций получает дальнейшее развитие. Исходя из анализа истории осадконакопления, магматизма и тектонических деформаций, к этой идее приходит, нередко независимо друг от друга, ряд крупных зарубежных и советских геологов.

Так, немецкий геолог Г. Квиринг [Quiring, 1933] установил в геологической истории Рейнских Сланцевых гор на протяжении девона, карбона и перми семь чередующихся между собой фаз сжатия и растяжения, первые из которых выражены проявлениями складчатости, а вторые — магматизма и гидротермальной деятельности. Американский геолог А. В. Грэбо [Grabau, 1936], долгие годы работавший в Китае, пришел к мнению о тектонических пульсациях земной коры, как причине одновременных, охватывающих всю Землю, трансгрессий и регрессий океана. Форму стройной теоретической концепции пульсационной гипотеза приобрела в опубликованной в 1933 г. книге известного американского геолога В. Бухера «Деформации земной коры. Индуктивный подход к проблемам диастрофизма» и других его работах [Bucher, 1921, 1924, 1933, 1939]. Выводы, к которым он пришел, автор сформулировал в виде 46 «законов» [Bucher, 1933]. По его теории в истории Земли, по крайней мере в постальгонское время, различаются чередующиеся фазы общего расширения и сжатия. Первые проявляются в виде глубокого погружения линейных геосинклинальных прогибов, испытывающих при этом горизонтальное растяжение. Одновременно вне геосинклинальных поясов происходит опускание обширных изометричных (платформенных — *Е. М.*) впадин, которые нередко пересекаются сетью даек, активизируются сбросовые подвижки и проседания «в поясах разломов пониженной мобильности», т. е. в рифтовых долинах типа Восточно-Африканских, Рейнской, Большого бассейна в Кордильерах и триасовых впадин Аппалач, которые Бухер, в противоположность некоторым своим современникам (Б. Уиллису, Э. Уэйленду), выдвинувшим рамповую концепцию их происхождения, считал типичными структурами растяжения. С фазами расширения Земли совпадают мировые трансгрессии, обусловленные уменьшением емкости океанических впадин. В эти периоды происходит разогрев подкорового субстрата (его Бухер называет астеносферой!) и нижней части коры, которая переходит в пластичное состояние, магматические продукты основного, а отчасти и ультраосновного состава проникают в

верхние горизонты коры в виде силлов, даек и пр. и частично изливаются на земную поверхность как в геосинклинальных прогибах, так и в некоторых изометричных (платформенных. — *Е. М.*) впадинах вне подвижных поясов. Фазы общего сжатия Земли (орогенические фазы) выражаются интенсивными складчатыми деформациями в геосинклинальных поясах, общим короблением и значительным утолщением их коры, кровля которой приобретает форму свода, а подошва — выпуклость книзу (корень гор). Большинство кислых интрузивов сечет складчатые структуры, но их становление происходит непосредственно вслед за орогенической фазой и находится в генетической связи с ней. К числу мобильных поясов, сводообразное поднятие которых обусловлено сжатием, В. Бухер, как и ряд других геологов, в первой половине XX в. относил срединные хребты Атлантического и Индийского океанов. В фазы сжатия Земли прекращается общее погружение внегеосинклинальных бассейнов на континентах и происходит регрессии Мирового океана. Таковы в самом кратком изложении основные положения пульсационной концепции В. Бухера. Следует признать, что большинство их (кроме представлений о природе срединно-океанических хребтов) выдержало полувековое испытание и сохранило свою актуальность; более того, из в значительной мере умозрительных построений они превращаются в наши дни во все более надежно доказываемые закономерности развития Земли.

Почти одновременно с монографией Бухера увидела свет книга советского геолога М. М. Тетяева «Основы геотектоники» [1934]. В ней, а также в некоторых других работах, написанных им совместно с В. Н. Букановским, автор излагает свои теоретические представления о тектоническом развитии Земли. По его представлению, это развитие имеет поступательно-циклический характер; каждый цикл состоит из относительно длительных эволюционных и более кратких революционных периодов, в течение которых тектоническая структура претерпевает коренное изменение. На всем протяжении геотектонического цикла в земной коре происходит борьба тенденций сжатия и растяжения, которая, согласно Тетяеву, является конкретным проявлением в развитии Земли взаимодействия сил притяжения и отталкивания, как одна из общих диалектических закономерностей развития природы, отмеченных Ф. Энгельсом. Эта борьба происходит и в эволюционный период, но особенно обостряется в революцион-

ный, проявляясь сперва в виде складчатых деформаций², затем в форме штурзий и, наконец, в форме горообразования в бывших геосинклинальных областях, общего раскалывания земной коры, эффузивного магматизма и неравномерного поднятия земной поверхности (макроколебаний). При этом в целом революционные периоды характеризуются преобладанием («победой») расширения над сжатием, а такие явления, как постепенное сокращение продолжительности геотектопических циклов и соответственно учащение революционных периодов, увеличение количества тектонических фаз в последующих циклах, активизация магматических явлений и постепенная интенсификация деформаций в геосинклиналиях от палеозоя к кайнозю, приводят М. М. Тетяева к выводу об общем процессе ускорения развития Земли по пути преобладания расширения над сжатием.

Таким образом, его геотектоническую концепцию можно квалифицировать как идею об общем постепенном расширении Земли, осложненном то ослабевающей, то усиливающейся «борьбой» тенденций расширения и сжатия. Следует заметить, что эту концепцию он излагает в чрезвычайно общей, абстрактной, если не схоластической форме, что весьма затрудняет понимание некоторых ее положений. К числу их относятся, в частности, объяснение им природы складчатых деформаций, а также смысл, вкладываемый им в понятие «борьба сжатия и растяжения». Не вполне ясно, представляет ли эта «борьба» чередование глобальных фаз контракции и экспансии Земли как это иногда трактуется комментаторами его работ (и в этом случае его следует считать сторонником идеи пульсаций на фоне общего расширения Земли), или же взаимодействие одновременно проявляющихся противоположных тенденций сжатия и растяжения. Так, в частности, понял это выражение В. А. Обручев [1940], выразив при этом недоумение: «Каким образом одновременно может происходить сжатие и расширение — эти процессы как будто должны сменять друг друга, хотя и очень быстро».

² Складчатость, по Тетяеву, является результатом общего «преобразования восходящего движения масс в начале расширения материковой системы Земли в условиях еще не побежденного сопротивления земной коры» в их горизонтальное движение. [Тетяев, 1934, с. 272]. Это туманное объяснение и вообще стремление связать происхождение складчатости с расширением Земли вызвало возражение ряда исследователей, в частности М. А. Усова [1940].

Как уже говорилось, в середине 30-х годов к идее геопульсацій пришел М. А. Усов. Как и М. М. Тетяев, он исходил из того философского представления, что «развитие Земли определяется взаимодействием притяжения и отталкивания в самодвижении составляющей ее материи» и что «притяжение между частицами земного сгустка материи» выражается в ее уплотнении или в сжатии тела Земли, а отталкивание — существенно в «накоплении внутренней энергии, приводящем к расширению» [Усов, 1937 с. 145]. Однако в противоположность М. М. Тетяеву он считал, что ведущей стороной этого основного противоречия является не расширение, а «сжатие земной материи, далеко еще не закончившееся, как это видно из преобладающих структур земной коры и плотности различных небесных тел». В отличие от М. М. Тетяева, М. А. Усов совершенно ясно сформулировал представления о чередовании во времени фаз расширения и сжатия Земли и конкретизировал характер их проявления в виде различных тектонических, магматических, седиментационных, геоморфологических и других процессов.

В ходе развития материи Земли, писал М. А. Усов, «происходит ряд качественных ее изменений, сопровождающихся скачками в сжатии и расширении тела Земли, или фазами тектогенеза земной коры. Фазы тектогенеза имеют всеобщий характер, находя различное выражение в зависимости от интенсивности скачков и от свойств радиальных участков земной коры».

Фазы сжатия выражаются в виде геосинклинальной складчатости. В противоположность М. М. Тетяеву, связывавшему складчатые деформации с усилением расширения Земли, М. А. Усов связывал их с фазами сжатия, которые «выражаются в виде геосинклинальной и глыбовой складчатости и эпейрогенических волновых движений, а также резкой смены фаций в непрерывной серии отложений. Фазы сжатия, или «фазы тангенциального диастрофизма», естественно сопровождаются и неоднократно перемежаются с фазами быстрого расширения, которые проявляются в сбросовых и магматических движениях. Подчеркивая важность выделения подобных фаз, он считал желательным ввести для них особые названия. «В межфазовые эпохи под влиянием продолжающейся глухой борьбы имманентных Земле противоречивых начал происходит пульсационное развитие заложенных последним крупным скачком геоморфологических элементов ее поверхности. При этом локализируются опускания в наиболее

слабых радиальных зонах, являющихся часто геосинклиналями» [Усов, 1937, с. 145]. В целом развитие Земли происходит циклически-поступательно, по спирали и имеет непрерывно-прерывистый характер. Обосновывая существование фаз радиального и тангенциального тектогенеза и их «всеобщий», хотя и по-разному проявляющийся в различных структурных элементах Земли, характер, М. А. Усов решительно критиковал Н. С. Шатского, «обрушившегося на теорию скачкообразного развития Земли, как на неокатастрофизм, и проповедывающего постепенное развитие Земли с проявлением складчатости во время и в связи с седиментацией и объясняющего угловое несогласие наложением положительных эпейрогенических волн на седиментационно-складчатый процесс, при большой медленности всех движений» [Усов, 1940, с. 10]. Подобную концепцию «индифферентного медленного и спокойного развития Земли, возвращающую нас к идеям Лайеля» («неоляйелизм в геологии»), он считал «неприемлемой с методологической точки зрения и бесперспективной в смысле выявления и использования закономерностей в истории Земли а также в смысле нахождения полезных ископаемых» [Усов, 1940, с. 10].

В целом рассмотренную выше геотектоническую концепцию М. А. Усова можно рассматривать как попытку синтеза пульсационной и контракционной гипотез. В этом ее принципиальное отличие от пульсационной экспансионной концепции М. М. Тетяева. От умозрительных представлений М. М. Тетяева, изложенных в недостаточно ясной форме, теоретические взгляды М. А. Усова выгодно отличаются также четкостью, конкретностью и тесной связью с геологической реальностью. Остается сожалеть, что безвременная кончина ученого в зените его творческой деятельности не позволила ему осуществить детальную разработку его пульсационно-контракционной концепции, оставшейся в стадии предварительного наброска.

Несколько позднее В. Бухера, М. М. Тетяева и М. А. Усова в пользу признания пульсационной гипотезы геотектоники решительно высказался крупнейший советский геолог В. А. Обручев [1940]. Изложенные им теоретические представления о роли пульсаций в геологическом развитии Земли ближе всего стоят, пожалуй, к идеям В. Бухера и заключаются в признании периодического чередования процессов сжатия и растяжения земной коры в качестве важнейшей закономерности геологического раз-

вития нашей планеты, имеющей ключевое значение для понимания происхождения тектонических движений и структур, истории магматизма, морфогенеза и пр. В «борьбе сжатия и растяжения» В. А. Обручев, как М. М. Тетяев и М. А. Усов, видел конкретное проявление в развитии Земли взаимодействия сил притяжения и отталкивания, как общего свойства развития материи. Однако в отличие от этих исследователей он не предполагает ни общего преобладания расширения Земли, как М. М. Тетяев, ни ее сжатия, как М. А. Усов. Хотя борьба «процессов расширения и сжатия в Земле происходит непрерывно, но сопротивление, которое слои твердой земной коры противопоставляют всяким смещениям, вызывает необходимое для его преодоления периодическое накопление фаз расколов и складчатости разных типов. Количество энергии обуславливает качество движений» [Обручев, 1940, с. 24, 25]. Таким образом, развитие земной коры имеет непрерывно-прерывистый и циклический характер, выражающийся в перемежаемости длинных, более спокойных эволюционных эпох, когда борьба сил сжатия и расширения протекает в относительно смягченной, более слабой форме колебательных движений, происходит изостатическое выравнивание нарушений равновесия, возникших в предшествующий революционный период, и более коротких революционных эпох, отвечающих обострению борьбы сжатия и расширения, которые состоят из нескольких чередующихся фаз с резким преобладанием одной из этих тенденций, сравнимых с пульсациями живого сердца. В. А. Обручев допускал, что внутри фаз могут существовать осложняющие их субфазы. В целом им предполагалась следующая довольно сложная иерархия периодичности тектонических движений:

1) циклы, состоящие на продолжительной эволюционной и более короткой революционной эпох (в некоторых местах своей работы В. А. Обручев [1940] «циклами» называет сами эти эпохи);

2) чередующиеся фазы расширения и сжатия, резко выраженные в революционных эпохах и менее отчетливо в эволюционных;

3) субфазы расширения и сжатия внутри фаз.

Расширение, согласно В. А. Обручеву [1940, с. 25], выражается в существенно радиальных относительно центра Земли (вертикальных) движениях: «В мобильных поясах происходит растяжение коры и образование геосинклиналей». Характер выполняющих их отложений,

писал он, свидетельствует о том, что погружение протекает прерывисто, «с остановками, необходимыми для накопления энергии. В стабильных участках земная кора вспучивается и разбивается трещинами, по которым отдельные глыбы могут перемещаться в виде горстов и грабенов... Возникают сбросы и сдвиги. В геосинклиналях, подвергшихся уже складкообразованию в предшествующую фазу сжатия, происходит поднятие складчатой страны», которое в значительной мере представляет процесс восстановления нарушенного ранее изостатического равновесия. С фазами расширения более всего связана магматическая деятельность, выраженная главным образом или даже исключительно в извержениях и инъекциях основных расплавов. «При расширении ослабевает давление на магматический слой, существовавшее при сжатии, и магма переходит из твердого состояния в жидкое. Трещины в смятых геосинклинальных осадках, подготовленные при сжатии, раскрываются, и магма проникает в глубину складок одновременно с поднятием последних вверх, образуя интрузивные тела, силлы и дайки.» К фазам растяжения в геосинклиналях относится формирование «зеленокаменных пород — так называемых офиолитов... В стабильных площадях расколы, доходящие до магматического слоя, позволяют магме подняться до земной поверхности: образуются печи вулканов и площадные излияния» [Обручев, 1940]. Прорывы основной магмы часто бывают связаны с большими вздутиями земной коры, к числу которых относятся описанные Г. Клоосом [Cloos, 1939] Восточно-Африканский, Нубийско-Аравийский и Рейнский своды, а также «Байкальский щит», представляющий подобное им вздутие стабильной области, осложненное обширным и глубоким провалом Байкала и другими грабенами — Тункинским, Косоогольским, Верхнеангарским, Муйским, Чарским и другими с многочисленными прорывами базальтов в Западном Забайкалье, Хамар-Дабане, в соседней части Восточного Саяна и пр.

Сжатие земной коры выражается, по В. А. Обручеву, «существенно тангенциальными движениями: в мобильных геосинклиналях, более или менее заполненных осадками, последние сминаются в складки, распространяющиеся и на прилегающие части стабильных площадей. На последних создаются большие складки широкого заложения, глыбовые складки фундамента, покровные складки в тонком слое континентальных и морских отложений, надвиги горстов на окраины грабенов и выпира-

ние первых. Все эти движения также происходят не непрерывно, а с остановками, необходимыми для накопления энергии, т. е. скачкообразно». Таким образом, для фаз сжатия, подобно сторонникам контракционной теории, В. А. Обручев принимает идею о трансформации общего уменьшения объема Земли, т. е. нисходящего радиального перемещения глубинных масс в тангенциальные деформации земной коры разного масштаба и интенсивности, осуществляющиеся в различных формах в разных структурных этажах коры — как в осадочном покрове, так и в фундаменте. Следует обратить внимание на то, что, по мнению академика, деформации горизонтального сжатия в подобные контракционные фазы развития Земли не ограничиваются геосинклинальными поясами, а распространяются на стабильные площади, т. е. на платформы, проявляясь в последних в покровных складках, короблениях и блоковых подвижках фундамента. Сбросы, ограничивающие грабены стабильных областей (т. е. современные континентальные рифтовые зоны, авлакогены и пр. — Е. М.), могут, по мнению В. А. Обручева, трансформироваться в фазы сжатия в надвиги. Эта интересная идея, позволяющая снять противоречия между конкурировавшими в 30—40-х годах рифтовой и рамповой моделями строения подобных структур, намного опередила свое время и лишь в последние годы получает фактическое подтверждение и растущее признание.

Последняя революционная эпоха («цикл»), охватывшая вторую половину третичного и первую половину четвертичного периода, состояла из ряда фаз и субфаз. В эту эпоху произошло сильное сжатие, сформировавшее складчатые системы Альп, Кордильер, Анд, Гималаев и пр., которое сменилось расширением, поднявшим эти горные цепи на месте бывших геосинклиналей и выдвинувшим складчато-глыбовые горы Алтайско-Саянской системы, а также создавшим провалы — грабены Байкальского пояса и горсты Станового хребта. В последующей своей работе В. А. Обручев предложил выделить структуры земной коры, созданные непосредственно после окончания альпийского цикла тектогенеза, «при самых молодых ее движениях, происходивших в конце третичного и в первой половине четвертичного периода, ...имеющих существенное значение в формировании современного рельефа земной поверхности, под названием неотектонических, а новый раздел геологии, посвященный изучению неотектонических движений и структур, — неотектоникой»

[Обручев, 1948]. Таким образом, неотектонические движения происходили в обстановке преобладания глобального растяжения земной коры, характерной для конца неогена и первой половины антропогена. Соответственно этап истории Земли, в течение которого происходили «неотектонические движения», может быть назван неотектоническим. О нижней границе этого этапа на протяжении последних 35 лет высказывались преимущественно в советской литературе самые различные мнения. Очевидно, исходя из понимания «неотектоники», которое было предложено автором этого термина, и места, которое она занимает в его пульсационной концепции, нижнюю границу неотектонического этапа (если вообще выделять его) следует проводить в верхах неогена³.

Современную геологическую эпоху, начавшуюся в середине четвертичного периода, В. А. Обручев рассматривал как начало нового эволюционного этапа («цикла»), в течение которого происходят только медленные колебательные движения, «которые, как и землетрясения и действующие вулканы, свидетельствуют, что борьба сжатия и растяжения продолжается, хотя и в замедленной форме» [Обручев, 1940]. Правомерность выделения этого нового цикла нельзя считать достаточно обоснованной, поскольку его пока что ничтожная в масштабе геологического времени продолжительность лишает нас исторической перспективы, а многие характерные для фаз растяжения явления — интенсивное развитие грабенов (рифтогенез), сводово-глыбовые поднятия, мощные вулканические извержения (преимущественно основных продуктов) — продолжают до современности. Поэтому большинство исследователей рассматривает конец неогена и антропоген как (в первом приближении) единую в кинематическом отношении тектонически активную эпоху.

Относительно возможных причин геопульсаций, если не считать общих соображений философского характера (борьба притяжения и отталкивания), учеными не предлагалось достаточно определенных конкретных объяснений. В качестве причин сжатия контракционная гипотеза предусматривает постепенное охлаждение Земли. Такое же

³ Наиболее естественно проводить ее в верхах миоцена (~10 млн. лет назад) или, скорее, на рубеже миоцена и плиоцена, т. е. на уровне около 5 млн. лет тому назад, когда в глобальном масштабе резко усилилось растяжение в рифтовых зонах и почти прекратились деформации сжатия на большей части протяжения кайнозойских геосинклинальных поясов [Милановский, 1982].

объяснение для сжатия предлагают некоторые сторонники пульсационной гипотезы, например В. А. Обручев [1940], подчеркивая, что теплоотдача Земли происходит не только кондуктивным путем, но и, главным образом, конвективным, т. е. переносом из недр планеты в ее поверхностные слои тепла и вещества в виде интрузий, эффузий, выделений газов и ювенильной воды. Земная кора вследствие этих перемещений увеличивается в объеме, а подкоровые слои уменьшаются, и сжатие коры становится неизбежным. Выносимое при этом большое количество тепла Земля теряет в мировом пространстве. Это естественное и традиционное представление оспаривалось, однако, М. А. Усовым [1937, 1940], который отстаивал тезис, что «Земля не потому сжимается, что охлаждается, а потому охлаждается, что сжимается», и уплотнение вещества в недрах Земли в основном связывал с атомными превращениями, сопровождаемыми понижением температуры.

Со времени открытия радиоактивности в качестве возможной причины расширения Земли стали называть разогрев ее недр под действием энергии, выделяемой при радиоактивных превращениях, приводящий к разуплотнению и частичному расплавлению вещества оболочек Земли (например, Джоли, М. А. Усов). В. А. Обручев высказал лишь осторожные предположения о том, что расширение могут вызывать дифференциация магмы, конвекционные токи, обусловленные всплыванием материков (в связи с их денудацией) и погружением геосинклиналей, переход магмы из твердого состояния в жидкое в зависимости от выделений тепла при радиоактивных процессах или от уменьшения давления после прекращения сжатия, влияние притяжения Солнца и Луны на магматический слой и др. Что же касается предполагаемого попеременного чередования фаз преобладания сжатия и растяжения, то сторонники пульсаций не могли дать этому явлению удовлетворительного конкретного объяснения, ограничиваясь констатацией существующего положения, как вероятной эмпирической закономерности.

М. А. Усов считал, что «сжатие и расширение земной коры суть не пассивные формы тектогенеза под влиянием каких-то внешних сил, а особые формы притяжения и отталкивания в саморазвитии материи Земли как части космоса». Возможность пульсаций он связывал с весьма неустойчивым характером равновесия между суммарным эффектом сил сжатия и растяжения в недрах планеты,

[Обручев, 1948]. Таким образом, неотектонические движения происходили в обстановке преобладания глобального растяжения земной коры, характерной для конца неогена и первой половины антропогена. Соответственно этап истории Земли, в течение которого происходили «неотектонические движения», может быть назван неотектоническим. О нижней границе этого этапа на протяжении последних 35 лет высказывались преимущественно в советской литературе самые различные мнения. Очевидно, исходя из понимания «неотектоники», которое было предложено автором этого термина, и места, которое она занимает в его пульсационной концепции, нижнюю границу неотектонического этапа (если вообще выделять его) следует проводить в верхах неогена³.

Современную геологическую эпоху, начавшуюся в середине четвертичного периода, В. А. Обручев рассматривал как начало нового эволюционного этапа («цикла»), в течение которого происходят только медленные колебательные движения, «которые, как и землетрясения и действующие вулканы, свидетельствуют, что борьба сжатия и растяжения продолжается, хотя и в замедленной форме» [Обручев, 1940]. Правомерность выделения этого нового цикла нельзя считать достаточно обоснованной, поскольку его пока что ничтожная в масштабе геологического времени продолжительность лишает нас исторической перспективы, а многие характерные для фаз растяжения явления — интенсивное развитие грабенов (рифтогенез), сводово-глыбовые поднятия, мощные вулканические извержения (преимущественно основных продуктов) — продолжают до современности. Поэтому большинство исследователей рассматривает конец неогена и антропоген как (в первом приближении) единую в кинематическом отношении тектонически активную эпоху.

Относительно возможных причин геопульсаций, если не считать общих соображений философского характера (борьба притяжения и отталкивания), учеными не предлагалось достаточно определенных конкретных объяснений. В качестве причин сжатия контракционная гипотеза предусматривает постепенное охлаждение Земли. Такое же

³ Наиболее естественно проводить ее в верхах миоцена (~10 млн. лет назад) или, скорее, на рубеже миоцена и плиоцена, т. е. на уровне около 5 млн. лет тому назад, когда в глобальном масштабе резко усилилось растяжение в рифтовых зонах и почти прекратились деформации сжатия на большей части протяжения кайнозойских геосинклинальных поясов [Милавовский, 1982].

объяснение для сжатия предлагают некоторые сторонники пульсационной гипотезы, например В. А. Обручев [1940], подчеркивая, что теплоотдача Земли происходит не только кондуктивным путем, но и, главным образом, конвективным, т. е. переносом из недр планеты в ее поверхностные слои тепла и вещества в виде интрузий, эффузий, выделений газов и ювенильной воды. Земная кора вследствие этих перемещений увеличивается в объеме, а подкоровые слои уменьшаются, и сжатие коры становится неизбежным. Выносимое при этом большое количество тепла Земля теряет в мировом пространстве. Это естественное и традиционное представление оспаривалось, однако, М. А. Усовым [1937, 1940], который отстаивал тезис, что «Земля не потому сжимается, что охлаждается, а потому охлаждается, что сжимается», и уплотнение вещества в недрах Земли в основном связывал с атомными превращениями, сопровождаемыми понижением температуры.

Со времени открытия радиоактивности в качестве возможной причины расширения Земли стали называть разогрев ее недр под действием энергии, выделяемой при радиоактивных превращениях, приводящий к разуплотнению и частичному расплавлению вещества оболочек Земли (например, Джоли, М. А. Усов). В. А. Обручев высказал лишь осторожные предположения о том, что расширение могут вызывать дифференциация магмы, конвекционные токи, обусловленные всплыванием материков (в связи с их денудацией) и погружением геосинклиналей, переход магмы из твердого состояния в жидкое в зависимости от выделений тепла при радиоактивных процессах или от уменьшения давления после прекращения сжатия, влияние притяжения Солнца и Луны на магматический слой и др. Что же касается предполагаемого попеременного чередования фаз преобладания сжатия и растяжения, то сторонники пульсаций не могли дать этому явлению удовлетворительного конкретного объяснения, ограничиваясь констатацией существующего положения, как вероятной эмпирической закономерности.

М. А. Усов считал, что «сжатие и расширение земной коры суть не пассивные формы тектогенеза под влиянием каких-то внешних сил, а особые формы притяжения и отталкивания в саморазвитии материи Земли как части космоса». Возможность пульсаций он связывал с весьма неустойчивым характером равновесия между суммарным эффектом сил сжатия и растяжения в недрах планеты,

при котором «изменение физико-химических условий, по крайней мере, в некоторых горизонтах Земли, достигает критической точки, за которой большая часть вещества этих горизонтов переходит в иное атомистическое состояние, что происходит, несомненно, сразу с резким изменением объема» в сторону сокращения или увеличения.

Одновременной публикацией в 1940 г. статей М. А. Усова и В. А. Обручева завершился «классический» довоенный период в развитии пульсационной концепции, охватывающий первое сорокалетие XX века. Если в начале этого периода появились только единичные высказывания о возможности чередования в истории Земли эпох сжатия и растяжения (А. Ротплетц), не встречавшие понимания подавляющей массы геологов, то в конце его в пользу пульсаций Земли, как важнейшего глобального геологического процесса, выступили выдающиеся геологи в Советском Союзе, США, Китае и пр. Развитию и популяризации пульсационной гипотезы способствовали укреплявшиеся на протяжении 20-х и 30-х годов представления о глобальной периодичности фаз складчатости, связывавшихся с существованием в земной коре фаз усиления сжатия глобального масштаба. Хотя наличие противоположных им фаз преобладания общего растяжения не было установлено, и первая серьезная попытка выявления последней подобной глобальной фазы была сделана лишь в 1940 г. В. А. Обручевым, и вообще истинная роль проявлений растяжения в земной коре была еще далеко не ясна, тем не менее логически можно было допустить существование фаз растяжения, компенсирующих эффект фаз сжатия, так как размеры Земли со временем не испытывали существенных изменений. Подобными соображениями, вероятно, руководствовались многие ученые, придерживавшиеся пульсационной концепции, в частности В. Бухер и В. А. Обручев. Однако, как отмечалось выше, в 30-х годах разрабатывались и другие варианты пульсационной концепции, в которых постоянная борьба расширения и сжатия или отдельные частные колебания объема Земли рассматривались как характерные, но все же второстепенные явления, осложняющие общий направленный процесс сжатия (М. А. Усов) или расширения нашей планеты (М. М. Тетяев). Известно, что если в начале века идея пульсаций была предложена в рамках сугубо фиксистской концепции, как некоторое усложнение контракционной гипотезы, то в дальнейшем, в 20-х годах, когда получили широкую популярность мобилистские идеи А. Вегенера,

была предложена гипотеза тектонотермальных циклов Джиоли, органически объединившая идею пульсационного режима развития Земли с идеей эпейрофореза. Наконец, когда в 30-х годах идеи мобилизма стали подвергаться все более резкой критике и были отвергнуты большинством европейских и североамериканских ученых, пульсационная гипотеза вновь стала разрабатываться на основе господствовавших фиксистских представлений.

После 1940 г. интерес к гипотезе пульсации и ее популярность заметно падают, на протяжении 40-х и 50-х годов публикуется мало новых оригинальных работ, посвященных этой проблеме. К числу последних относится монография Дж. Умбгроуэ «Пульс Земли» и другие его работы [Umbgrove, 1947, 1950], в которых обосновывались ритмический характер и глобальная синхронность тектонических движений и тектоноэвстатическое происхождение стратиграфических циклов. В целом же в этот период в отношении пульсационной гипотезы проявилось скорее больше сомнений, чем подтверждающих ее, или хотя бы одобрительных высказываний. Надо отметить, что если В. А. Обручев [1948] оставался верным пульсационной гипотезе, то В. Бухер впоследствии высказал сомнение в существовании фаз растяжения земной коры и вообще роли последнего в заложении геосинклинальных поясов [Bucher, 1955]. Оценки пульсационной гипотезы, характерные для начала 60-х годов, можно проиллюстрировать высказываниями, сделанными в сводных трудах В. В. Белоусова и В. Е. Ханна.

По мнению В. В. Белоусова [1962], положительное значение этой гипотезы заключается в том, что она привлекла внимание к периодическому характеру тектогенеза и связала это свойство его с периодическими изменениями в глубинных подкоровых процессах. Однако «конкретное физическое обоснование глубинных процессов в гипотезе Усова и Обручева отсутствует... Само предположение о существовании в истории Земли всеобщих фаз растяжения, охватывающих в тангенциальном направлении всю земную кору, не соответствует действительности». Автору казалось противоречащим гипотезе пульсаций повсеместное и постоянное сосуществование как в геосинклиналиях, так и за их пределами зон опускания и поднятия. «Если прогибание вызывается растяжением, а поднятие и складчатость — сжатием, то каким образом одновременно могут существовать рядом центральные поднятия и передовые и межгорные прогибы?» — спра-

шивал он. Ошибочной, по его мнению, является и попытка Бухера, Усова и Обручева, как и многих других исследователей, объяснить складчатость внешним тангенциальным давлением. Следует заметить, что в настоящее время ни одно из этих возражений не выглядит достаточно убедительным.

В. Е. Хаин [1964] признавал, что пульсационная гипотеза обладает явным преимуществом перед контракционной гипотезой, облегчая понимание магматических процессов, образование разломов, геосинклиналей, колебательных движений и некоторых других явлений. Вместе с тем конкретное изображение ею последовательности и причинных связей тектономагматических процессов явно не удовлетворительно с современной точки зрения. Проблема происхождения материков и океанов даже не ставится пульсационной гипотезой; в ней упускается из виду связь изменений объема и формы планеты; она не дает объяснения геометрическим закономерностям структуры и рельефа земной коры. Однако все это, по его мнению, имеет второстепенное значение по сравнению с тем положительным элементом, который заключен в самой принципиальной основе пульсационной гипотезы.

Охлаждение и даже разочарование в пульсационной гипотезе, наступившее в 40—50-х годах, как мне представляется, в основном было связано с тем в значительной мере умозрительным характером, который она имела в предвоенные годы. Это была теоретическая модель, позволявшая остроумно «связать концы с концами», т. е. логично объяснить сложную последовательность тектонических, магматических, седиментационных и тому подобных событий истории Земли в их взаимосвязи. Однако очень многое в этой схеме корреляции геологических событий оставалось в то время не только не доказанным, но и весьма сомнительным или казалось надуманным.

Так, существование фаз складчатости, как кратковременных периодов усиления деформаций сжатия даже в пределах одного региона, как мы уже упоминали, подвергалось во второй половине 30—40-х и 50-х годов сильному сомнению или вообще отрицалось. Тем менее вероятным многие исследователи считали существование общепланетарной периодичности и синхронности в проявлении складкообразовательных движений в геосинклинальных областях. Негативное мнение по этим вопросам высказывали такие авторитетные геологи, как Н. С. Шатский и В. И. Попов в СССР, Гиллули в США и пр. Еще

более сомнительной казалась мысль о существовании равноправных с фазами сжатия самостоятельных фаз растяжения, поскольку структурам растяжения придавалось в то время резко подчиненное значение по сравнению со складчатыми: современные континентальные рифтовые зоны оставались слабо изученными, а их древние аналоги и океанические рифтовые пояса еще не были известны. Об истинной роли рифтогенеза в развитии Земли трудно было даже догадываться. Вопрос о глобальной синхронизации проявлений растягивающих деформаций почти никем не ставился, за исключением В. А. Обручева [1948], отметившего их ведущую роль среди неотектонических движений. Ортодоксально фиксистская тектоническая «идеология», господствовавшая в большинстве стран, и в особенности в СССР, до середины или даже конца 50-х гг., когда даже складчато-надвиговые и покровные деформации в подвижных зонах многие геологи рассматривали как своеобразный эффект дифференцированных вертикальных движений, также не способствовала популярности идеи пульсации. В этот же период некоторые исследователи высказывали сомнения в глобальном характере эвстатических колебаний океана, т. е. в реальности мировых трансгрессий и регрессий, а отдельные ученые продолжали отрицать их существование еще в начале 70-х годов [Яншин, 1973].

Однако с начала 60-х годов интерес к идее геопульсаций начинает возрождаться, а во второй половине 70-х и начале 80-х годов она вновь приобретает довольно широкую популярность в Советском Союзе и меньше — за рубежом. Возрождение пульсационной гипотезы стало возможным в связи с тем, что ее теоретические (логические) основы не были развенчаны критикой и сохранили свое значение, а весьма значительный прогресс геологических знаний, происходящий с нарастающей быстротой, позволяет подвести под нее достаточно надежную фактическую базу. Наибольшие значения для реабилитации и дальнейшего развития концепции геопульсаций имели следующие достижения геологической науки последних десятилетий.

1. Интенсивное исследование геологии океанического дна привело к открытию внутриокеанических рифтовых хребтов, установлению их связей с современными континентальными рифтовыми зонами, также подвергшимся углубленному сравнительному изучению, к выявлению мировой рифтовой системы. В дальнейшем было обнару-

жено широкое развитие на континентах древних рифтовых зон мезозойского, палеозойского и позднепротерозойского возраста и еще более древних рифтоподобных структур в раннем протерозое и архее. Тем самым была установлена и доказана огромная роль структур и деформаций растяжения на протяжении почти всей истории Земли, не уступающая роли структур и деформаций сжатия.

2. Отход от ортодоксально фиксистских позиций в трактовке развития геосинклинальных поясов, подтверждение широкого развития в них тектонических покровов с большой амплитудой горизонтального перемещения и расшифровка природы офиолитовых зон, как впоследствии «закрывшихся» зон с корой океанического типа, привели большинство исследователей складчатых областей к признанию проявления в них интенсивных деформаций горизонтального сжатия в некоторые эпохи их развития (а в ряде случаев сильного горизонтального расширения в другие эпохи).

3. После длительного периода сомнений в наличии периодичности фаз усиления тектонических деформаций, вплоть до отрицания ее отдельными исследователями, в последние 10—15 лет реальность их существования, глобальное значение и почти полная одновременность проявления становятся все более очевидными. Существенное значение для подтверждения этих закономерностей имели работы А. А. Пронина [1969, 1973], проанализировавшего и обобщившего колоссальный мировой фактический материал по хронологии проявлений фаз тектонических деформаций в фанерозое, и результаты статистической обработки этого материала, выполненной Н. Я. Куниным и Н. М. Сардонниковым [Кунин, Сардонников, 1973; Максимов и др., 1977]. Эти исследования выявили существование в фанерозое до 13 тектонических циклов средней продолжительностью около 40—50 млн. лет; каждый из них состоит из относительно спокойной эпохи, в течение которой тектонические деформации происходили сравнительно редко или отсутствовали, и «беспокойной», когда они учащались, приводя к возникновению в разрезах крупных перерывов и угловых несогласий, отвечающих отдельным «тектоническим фазам» (фазам складчатости Штилле).

4. Аналогичным образом, особенно в последнее десятилетие, были в значительной мере рассеяны сомнения в отношении глобального характера и синхронности проявления крупных трансгрессий и регрессий и выявлен пла-

нетарный ритм эвстатических колебаний уровня океана на протяжении фанерозоя [Найдин, 1971; Казаринов, 1976, Vail e. a., 1977; Vail and Hardenbol, 1979; Hancock, Kaufman, 1979; и др.]. Эти осцилляции достигали значительного размаха (сотни метров), происходили быстро и в большинстве случаев контролировались, по-видимому, тектоническими движениями, единообразно проявившимися на огромных пространствах ложа океанов.

5. По мере выявления огромной роли рифтовых зон в современной структуре и истории Земли и подтверждения глобальной периодичности проявлений сжатия (фаз складчатости) в геосинклинальных областях стала выдвигаться проблема проявления тектонических движений в рифтовых зонах во времени и прежде всего деформаций растяжения в них и их корреляции с фазами деформаций в геосинклиналях. Исследование этой проблемы имеет исключительно важное значение для проверки идеи геопульсаций. Действительно, коль скоро деформации сжатия в геосинклинальных областях протекают неравномерно во времени (фазы складчатости), то, очевидно, такая же неравномерность должна иметь место и в распределении во времени деформаций растяжения в рифтовых зонах. При этом теоретически можно допустить две альтернативные возможности соотношений «пиков» сжатия в геосинклинальных и «пиков» растяжения в рифтовых областях: а) совпадение во времени и глобальная взаимная компенсация эффекта сжатия в одних зонах Земли и расширением в других. Подобная корреляция должна была бы иметь место в случае постоянства радиуса и объема Земли. Она предполагается, в частности, сторонниками концепции тектоники плит, одним из необходимых исходных постулатов которой является неизменность радиуса Земли [Ле Пишон и др., 1977]; б) их асинхронность и чередование во времени, которые могут иметь место в случае некоторых периодических изменений радиуса Земли и таким образом свидетельствовать о ее пульсациях.

Исследования истории тектонических движений во многих ныне активных и древних рифтовых зонах Земли в пределах континентов и океанов, проведенные в последние 10—15 лет, со всей убедительностью показали отчетливо выраженную неравномерность проявления в них деформаций растяжения во времени, причем в некоторых древних рифтовых и рифтоподобных зонах были отмечены, кроме фаз растяжения, также фазы чередующегося с ними сжатия. Было выявлено приблизительное совпадение фаз

усиления растяжения во многих рифтовых зонах [Казьмин, 1975; Милановский, 1978]. Наконец, было показано, что фазы усиления растяжения в отдельных континентальных рифтовых зонах не совпадают, а, напротив, чередуются во времени с фазами сжатия в геосинклинальных областях [Милановский, 1978], а во внутриокеанических рифтовых поясах последним отвечают во времени перерывы в процессе спрединга и перестройки плана расположения его осей и переориентация направлений расширения во внутриокеанических рифтовых поясах [Schwan, 1980].

Установление этих эмпирических закономерностей, свидетельствующих в пользу существования глобальных фаз усиления сжатия и расширения Земли, а также подтверждение реальности мировых трансгрессий и регрессий явились важными предпосылками для возрождения и дальнейшего развития пульсационной гипотезы.

Наряду с этими историко-геологическими данными недавно были получены первые достоверные экспериментальные гравиметрические и астрономические данные, позволяющие предполагать существование весьма непродолжительных периодических колебаний радиуса и (или) фигуры Земли. Наряду с приливными вариациями силы тяжести, вызываемыми притяжением Луны и Солнца и имеющими периодический характер, были установлены так называемые неприливные изменения, порождаемые причинами, связанными с развитием нашей планеты. Часть их имеет локальный характер, но в самые последние годы, с появлением новых высокоточных приборов — баллистических гравиметров — впервые удалось выявить также глобальные (?) изменения силы тяжести, которые единообразно проявляются в трех далеко отстоящих друг от друга пунктах Евразии, расположенных в разных тектонических зонах — в Потсдаме, Москве и Новосибирске [Буланже, 1981]. Во всех этих точках наблюдения изменения силы тяжести за время с 1975 по 1980 г. происходили в одинаковом направлении и составляли почти одну и ту же величину. В первом приближении их можно считать квазипериодическими с периодом около 5 лет и амплитудой порядка 20 микроГал (максимальное изменение имело место в 1976—1978 гг. и достигало 10 микроГал). На основании этих данных Ю. Д. Буланже [1981] приходит к выводу о вероятном существовании глобальных колебаний силы тяжести, хотя данных для точного определения их периода и амплитуды пока еще недостаточно. Согласно расчетам Н. Н. Парийского, эти колебания хо-

рошо согласуются с изменениями скорости вращения Земли. Одной из вероятных причин колебаний величины силы тяжести, как и изменений скорости вращения Земли, могут быть изменения радиуса Земли, возможно, достигающие нескольких сантиметров в год, и (или) ее формы.

Следует отметить, что в последнее время, помимо замечающихся короткопериодических колебаний объема и (или) фигуры Земли, были установлены также небольшие глобальные колебания размеров Солнца с еще меньшей продолжительностью, составляющей 160 мин, которые фиксируются уже на протяжении почти 10 лет [Северный, 1981]. Кроме того, известен класс пульсирующих звезд — цефеид — с продолжительностью периода сжатия и расширения от 1 до 200 сут и более. Эти факты позволяют полагать, что пульсация разной продолжительности, масштаба и, возможно, нескольких порядков представляет одну из общих важных закономерностей существования различных космических тел.

Отмеченные геологические, геофизические и астрономические факты и закономерности по мере их установления и усвоения оказывали на протяжении последних десятилетий влияние на поиски ведущих тенденций в тектоническом развитии Земли и в значительной мере способствовали возвращению теоретической мысли многих геологов к пульсационной концепции.

В 60-х годах, после длительного перерыва, появляется несколько работ, авторы которых высказываются в пользу идеи пульсаций объема и колебаний формы Земли, исходя из общих теоретических соображений. Развивая представления о контракции Земли, осложняемой периодическими пульсациями, Г. Н. Каттерфельд [1962] высказал мнение, что гравитационное сжатие Земли, увеличивая ее среднюю плотность, приводит к выделению весьма значительной тепловой энергии. Так как в мировое пространство рассеивается лишь часть ее, то планета нагревается, и поэтому за стадией сжатия следует сменяющая ее (но только на время) стадия расширения. Следовательно, гравитационное сжатие предваряет и причинно обуславливает следующую за ней стадию расширения, т. е. преобладание сил отталкивания над силами притяжения, после чего вновь возобновляется процесс сжатия, и т. д. Происходящие в ходе развития Земли пульсации объема влияют на изменение режима ее осевого вращения: при сокращении земного радиуса скорость ее вращения возрастает, а при увеличении — уменьшается. Соответ-

ственно увеличивается или уменьшается величина полярного сжатия Земли и асимметрия фигуры планеты, связанная с трехосностью земного эллипсоида. В предложенной Г. Н. Каттерфельдом ротационной пульсационной гипотезе показана важнейшая роль, которую эти изменения объема и формы Земли играют в ее тектонических деформациях и морфогенезе. Общие для всей ее поверхности и однозначные колебательные движения, происходящие по направлению земного радиуса при изменениях объема, он называет пульсационными, а накладывающиеся на них сопряженные между собой колебательные движения, связанные с пульсациями формы, — пульсационно-волновыми. Пульсационные движения, если они противоположны по знаку, всегда разновременны, тогда как противоположные по направлению пульсационно-волновые движения могут быть одновременными и чередоваться как во времени, так и в пространстве.

Своеобразный вариант идеи геопульсаций предложил Н. К. Ступак [1963]. Отклонения формы геоида от эллипсоида вращения, по его предположению, связаны с тем, что вещество Земли находится в свободном установившемся колебательном движении. Эти колебания, имеющие характер стоячих волн, совершаются вокруг фигуры равновесия — эллипсоида вращения — и в настоящее время зафиксировали мгновенное состояние фигуры геоида. Поскольку наибольшая величина поверхности Земли будет соответствовать моментам максимального отклонения геоида от равновесия, а ее наименьшая величина — моментам перемены знаков колебаний, первые будут фиксироваться как фазы расширения, а вторые — как чередующиеся с ними фазы сжатия земной коры.

Примерно в те же годы в Советском Союзе в изучении Земли начинает развиваться так называемое астрогеологическое направление, приверженцы которого стремились выявить в различных геологических явлениях — тектонических, палеоклиматических и других — отражение тех или иных внешних по отношению к Земле космических воздействий. Так, например, с обоснованием идеи об изменениях в скорости вращения Земли, реальность которых была к этому времени установлена работами Н. Н. Парийского [1954], и сопряженных с ними изменений ее формы, как вероятных причин деформаций земной коры, палеогеографических и климатических изменений, выступили А. В. Орлова [1963], В. А. Цареградский [1963], А. В. Долицкий и И. А. Кийко [1963].

Некоторые исследователи (например, В. А. Цареградский [1964]) отмечали, что периодичность в крупнейших деформациях земной коры (эпохах складчатости), предположительно связанная с периодами изменения скорости земного вращения, близка к длительности «галактического года» (170—180 млн. лет), что может указывать на связь периодичности в геологических процессах с неравномерностью галактического движения Солнечной системы. Близкие идеи в отношении космической природы периодичности климатических колебаний разной продолжительности в истории Земли высказывал Г. Ф. Лунгер-гаузен [1963, 1964].

Красноярский геолог Н. Е. Мартьянов в своей работе «Энергия Земли» [1968] пришел к выводу, что великие затопления и осушения континентов, непрерывно сменявшие друг друга в истории Земли, могли происходить только в результате изменения уровня Мирового океана, и что единственной причиной великих трансгрессий и регрессий являются изменения площади поверхности Земли, и следовательно, пульсации ее объема. В существовании этих пульсаций Земли, по его мнению, заключается единственная возможность объяснения соприкосновения и разобщения континентов в геологическом прошлом, т. е. относительных горизонтальных перемещений крупных массивов земной коры и т. д. Наличие пульсирующих и сверхплотных звезд и пульсации Земли свидетельствуют, по мнению автора, о том, что характер междуатомных взаимодействий изменяется во времени и, следовательно, на междуатомные силы непрерывно действуют внешние родственные им электромагнитные силы. Космические тела постоянно находятся под воздействием меняющихся магнитных полей, и характер взаимодействия слагающих их атомов должен непрерывно изменяться. Периодическое изменение характера междуатомных взаимодействий в веществе планеты, вызываемое изменением внешних космических магнитных полей, может быть причиной пульсаций объема Земли, в свою очередь приводящих в действие тектонические, магматические процессы, изменяющие уровень океана и тем самым контролирующие ход процессов седиментации, морфогенеза, палеогеографические изменения и пр.

В пользу признания важной роли, которую могут играть в геотектонике различные космические факторы, высказался П. Н. Кропоткин. Тектонические процессы, по его мнению, «представляют собой результат двух более

или менее равноценных факторов внутренней эволюции Земли, связанной с выделением тепла при распаде радиоактивных элементов и с гравитационной дифференциацией вещества ее силикатной оболочки... и космических внешних воздействий. Из них главнейшими могут оказаться периодические и нерегулярные изменения гравитационной постоянной или соответствующие изменения массы Земли» [Кропоткин, 1970]. Ссылаясь на результаты исследований палеомагнетизма, он выступил в поддержку предположений сторонников пульсационной гипотезы о возможности «колебаний величины радиуса Земли в пределах 10% на протяжении последних 500 млн. лет».

В своих новейших работах П. Н. Кропоткин придерживается взгляда, что глобальная картина геодинамики должна учитывать три главных механизма, относительную роль которых еще трудно определить: «Изменения радиуса Земли (предполагаемые согласно пульсационной геотектонической гипотезе), гравитационную дифференциацию и тепловую конвекцию, возбуждающую подкоровые течения, т. е. циркуляцию мантийного вещества» [Кропоткин, 1980]. К числу внутренних факторов, ведущих к сжатию Земли, он относит все процессы гравитационной дифференциации, а ведущих к ее расширению — рост температуры за счет радиоактивного распада. Из внешних факторов, способных привести к изменению размеров Земли, он указывает вариации величины гравитационной постоянной, связанные (по П. Дираку и П. Иордану) с гипотетическим общим расширением Вселенной, или, что кажется ему более вероятным, флюктуации этой величины, возникающие согласно Р. Дике, при изменениях величины фонового (космологического) потенциала поля тяготения в ближайшей части Галактики, что должно заметно сказываться на частоте землетрясений, вызывать изменения радиуса и создавать неравномерности вращения Земли. Подтверждение реальности этой идеи П. Н. Кропоткин видит, в частности, в установленных неприливных изменениях силы тяжести, возможно связанных с небольшими колебаниями радиуса Земли, и соответствующих изменениях скорости земного вращения с периодичностью в несколько лет, о которых говорилось выше.

Изменения радиуса Земли, имеющие переменный характер (которые и предполагал В. А. Обручев в своей пульсационной геотектонической гипотезе), действительно играют существенную роль в процессах горообразования. Их суммарный эффект, накапливающийся за де-

сятки миллионов лет, вероятно, не приводит к отклонению радиуса Земли от средней величины более чем на 5%, но попеременное сжатие и расширение Земли должно стимулировать перемещения масс в мантии Земли и способствовать возникновению подкорковых течений. Если при попеременном сжатии и расширении в одних зонах накапливаются деформации, свидетельствующие о сокращении поверхности Земли, а в других видны следы ее увеличения (образование рифтов, грабен), то ясно, что глыбы земной коры, расположенные между теми и другими, должны перемещаться в горизонтальном направлении от зон растяжения к зонам сжатия [Кропоткин, 1982]. Таким образом, по его мнению, в принципе вполне возможен синтез пульсационной гипотезы с современным вариантом мобилистской концепции — гипотезой перемещения литосферных плит.

Весьма определенно в пользу непрерывно-прерывистого и циклично-периодического развития земной коры (и, вероятно, Земли в целом) высказывается В. Е. Хаин [1977]. Он допускает существование некоторого общепланетарного режима эндогенной активности и, поскольку она непосредственно коррелируется с величиной теплового потока, считает, что пульсации Земли связаны с изменениями интенсивности конвекционных или адвекционных процессов в мантии. Признавая установленное «совпадение основных фаз тектогенеза с фазами прекращения спрединга, расширения срединно-океанических поднятий, а нередко и перестройки плана расположения осей спрединга — океанических рифтов», и вместе с тем, не отказываясь от концепции тектоники плит, В. Е. Хаин, как и П. Н. Кропоткин, стремится примирить ее с гипотезой геопульсаций. «Пульсационный характер спрединга и противоположного ему тектонического сжатия в геосинклинально-орогенных зонах наводит на мысль, что постулируемая новой глобальной тектоникой полная взаимная компенсация сжатия и растяжения в глобальном масштабе осуществляется лишь в пределах достаточно значительных интервалов геологического времени, и что в действительности имеет место чередование планетарных фаз преобладания растяжения, способствующего спредингу, и сжатия, препятствующего спредингу и способствующего складчатости и орогенезу. Соответственно должен меняться объем Земли, как то допускалось пульсационными гипотезами В. Бухера — М. А. Усова — В. А. Обручева» [Хаин, 1977]. Таким образом, В. Е. Хаин, отстаивая принципиальную правильность гипотезы

тектоники плит, был вместе с тем вынужден отказаться от лежащего в ее основе важнейшего постулата неизменности радиуса Земли, принятие которого являлось обязательной геометрической предпосылкой для всех глобальных реконструкций перемещений литосферных плит.

С программной статьей, в которой существование пульсаций Земли нескольких различных порядков, накладывающихся друг на друга, выдвигается как ведущая закономерность геологического развития нашей планеты, выступал В. П. Казаринов [1979]. Он особо подчеркнул, что пульсации находят свое выражение не только в периодичности тектонических движений и проявлений магматизма, но и в сопряженных процессах геоморфогенеза и литогенеза.

Эпохи расширения Земли и обширных трансгрессий бывают ознаменованы выравниванием рельефа и широким развитием кор химического выветривания. Вследствие сглаживания неровностей рельефа и смягчающего влияния трансгрессий они обычно характеризуются на большей части суши теплым влажным климатом. Осадконакопление в эпиконтинентальных морях в подобные эпохи характеризуются широким развитием биогенных и хемогенных карбонатных отложений, осадочных железных и марганцевых руд в прибрежных зонах, а на континентальных равнинах — формированием угленосных толщ и бокситов. Напротив, эпохам сжатия и регрессий отвечают возрастание геоморфологических контрастов и денудационных процессов, возникновение орографических барьеров, усиливающих климатическую зональность и обуславливающих широкое развитие аридных, а также ледовых обстановок. Осадконакопление характеризуется мощным распространением кластических вплоть до псефитовых отложений, формированием соленосных толщ, медистых сланцев и песчаников и пр. Незадолго до своей безвременной смерти В. П. Казаринов завершил работу над большой монографией, посвященной проблеме геопульсаций, которая настоятельно нуждается в скорейшем опубликовании.

В последние годы интерес к идее пульсационного развития Земли начинает возрождаться в странах Западной Европы и Америки, где геопульсации разного порядка обычно понимаются как периодичность тектонических движений, осложняющая течение процессов спрединга, коллизии литосферных плит, рост мантийных диапиров и т. п.

Приведем лишь несколько примеров. Так, например, И. Мейленкамп [Meulenkamp, 1982] установил совпадающую во времени эпизодичность и периодичность в проявлении седиментационных и тектонических процессов на протяжении палеогена и неогена в Калабро-Сицилийской и Эллинской дугах. Эти ритмы хорошо синхронизируются с аналогичными событиями во всей Средиземноморской области, зоне Паратетиса и смежных частях обрамляющих платформ, что позволяет автору говорить о пульсационном режиме тектонического развития, трансгрессий и регрессий в пределах всего этого огромного региона в течение кайнозоя. По крайней мере, некоторые из наиболее резких изменений этого режима, имевших место 37, 31, 24, 18, 12 и 5 млн. лет тому назад, коррелируются с крупными колебаниями уровня океана.

Неоднократное чередование во времени обстановок горизонтального растяжения и сжатия, т. е. пульсационный режим развития, было установлено некоторыми исследователями в позднекайнозойской истории Эгейской области [Mercier, 1977; Angelier, 1978; и др.]. На фоне общей тенденции ее расширения (и сопряженной с ней субдукции в расположенном к югу от нее Гелленском желобе) выявляется до 5 фаз пульсаций: 1) растяжение в позднем миоцене (тортоне); 2) сжатие в конце позднего миоцена; 3) растяжение в плиоцене; 4) сжатие в начале четвертичного периода; 5) преобладающее растяжение в плейстоцене и голоцене.

Исследование геологического строения и истории формирования части Северной Атлантики, прилегающей к восточному побережью Северной Америки, привело Р. Шеридана к установлению резкой неравномерности в проявлении ряда геологических процессов на протяжении юры, мела и кайнозоя [Sheridan, 1983]. Так, скачкообразно, в несколько раз (от 1 до 4 см/год) изменялись скорость спрединга и частота геомагнитных инверсий. При этом периодам быстрого расширения океанского дна соответствовало формирование зон спокойного магнитного поля и высокое стояние уровня океана (трансгрессии), а периодам замедления спрединга — частые смены магнитной полярности и падения уровня океана (регрессии)⁴.

⁴ Следует отметить, что выделяемые Р. Шериданом три главные эпохи резкого замедления спрединга в Северной Атлантике — между 140 и 115, 65 и 50 и 40 и 10 млн. лет тому назад — грубо соответствуют юнокиммерийской, ларамийской и альпийской эпохам складчатости.

Установленная Р. Шериданом крупная периодичность в проявлении этих процессов позволила ему предложить ее объяснение в свете гипотезы пульсационной тектоники (автор сообщает, что термин «пульсации» он заимствовал у Дж. Умбгроу [Umgrove, 1947], использовавшего его для объяснения тектоноэвстатической природы стратиграфических циклов, не упоминая о более ранних работах Бухера, Грэбо и других геологов). Существование связи между процессами в верхней мантии, контролирующими спрединг, и процессами, контролирующими магнитное поле Земли и его инверсии, которые протекают во внешнем жидком ядре планеты, дает автору основание высказать предположение о периодическом возникновении плюмажей горячего мантийного материала в основании мантии, которые переносят тепло от границы ядра и мантии кверху и позднее достигают астеносферы и литосферы, индуцируя ускорение спрединга. Пульсы быстрого спрединга в позднем мезозое и кайнозое коррелируются с главными периодами рифтинга на пассивных окраинах и раскрытия океанских бассейнов в разных частях Земли, определяя явления геодикличности первого порядка.

В 1977 г. автор данной статьи пришел к убеждению, что гипотеза геопульсаций в сочетании с предположением о периодическом общем умеренном расширении Земли в отдельные периоды ее развития способна лучше, чем ортодоксально фиксистские и мобилистские концепции, учесть совокупность новейших данных и установленных эмпирических закономерностей строения и развития Земли и объединить сильные стороны обеих этих концепций в рамках синтеза пульсационной и экспансионной гипотез. Следует заметить, что до недавнего времени сторонники соответствующих гипотез противопоставляли одну из них другой, и лишь немногие исследователи, в частности А. Шнейдеров в США [Schneiderov, 1961], А. и Ж. Термье в Западной Европе [H. Termier, G. Termier, 1977], В. Н. Ларин [1975, 1980] в СССР, стремились к объединению элементов обеих концепций. Представления автора по проблемам возможных пульсаций и расширения Земли были изложены во многих работах [Милановский, 1977, 1978а, б, 1980, 1982а — в, 1983; Milanowski, 1978, 1979, 1980; и др.]. Здесь кратко будут изложены некоторые высказанные в них положения.

1. Предполагается существование в развитии Земли целого «спектра» геопульсаций различных порядков, мас-

штаба и длительности, накладывающихся друг на друга. На одном конце этого «спектра» находятся пульсации порядка 5—10 лет (предполагаемые на основании данных о колебаниях силы тяжести) и, возможно, еще более краткие, в середине — пульсации, фиксируемые отдельными фазами складчатости и рифтогенеза (продолжительностью в несколько миллионов лет) и чередованиями сгущений и разряжений этих фаз (несколько десятков миллионов лет), а на другом конце — пульсации, выраженные в виде геотектонических циклов (порядка 200 млн. лет) и мегациклов — протогейя, дейтерогейя, неогейя и т. д. (продолжительностью около 1 млрд. лет).

2. В начале каждого «пульса» (цикла) происходит расширение, в конце — сжатие. Однако благодаря взаимоналожению циклов разного порядка их эффект, как правило, оказывается неодинаковым, и на протяжении длительных периодов расширение, суммируясь в течение многих мелких циклов, может преобладать над сжатием, или наоборот. В частности, в течение мегацикла, начавшегося в мезозое и еще далекого от своего завершения, расширение в глобальном масштабе превосходило сжатие. Это позволяет предполагать некоторое общее расширение Земли (порядка 5% по радиусу и 10% по площади) в мезокайнозое, что позволило бы более естественно, чем с позиций фиксизма и тектоники плит, объяснить эмпирически установленные закономерности геологического развития в эту эпоху. Возможно, что расширение в целом несколько превалировало над сжатием и в течение некоторых более ранних эпох истории Земли, в частности в архее и позднем протерозое.

3. Горизонтальное расширение и сжатие не проявляются равномерно на всей земной поверхности, но реализуются главным образом в отдельных линейных зонах. Их масштаб, конфигурация, густота их сети, структурные особенности, свойственный им магматизм, характер развития на протяжении истории Земли испытывали заметные изменения. В архее, когда протоконтинентальная кора была относительно тонкой и легко подвергалась тектоническим и термическим воздействиям, в ней возникали многочисленные узкие линейные, волнистые в плане зоны (так называемые зеленокаменные пояса), которые в начале пульсационных циклов испытывали расширение, а в конце — сжатие. В позднем протерозое стали обособляться геосинклинальные пояса, в развитии которых в конечном итоге преобладало сжатие (хотя в начале крупных и

более мелких циклов они подвергались растяжению), и древнейшие собственно рифтовые зоны континентов — авлакогены, в которых в целом происходило растяжение (хотя в отдельные фазы их развития могло проявляться сжатие). Авлакогены в позднем протерозое и палеозое были структурно и генетически связаны с геосинклинальными поясами и развивались в едином ритме с ними. В мезозое и кайнозое тенденции преобладающего расширения и сжатия более резко поляризовались соответственно в геосинклинальных поясах (в них в фазы глобального расширения проявлялось растяжение) и рифтовых зонах и поясах (континентальных и океанических), которые окончательно утратили прямую связь.

4. Вследствие того, что в течение отдельных фаз расширения происходит усиление растяжения в рифтовых зонах, а в течение фаз сжатия усиление деформаций сжатия в геосинклинальных поясах, многократное суммирование эффекта мелких пульсаций (циклов) приводит к значительному расширению первых и сокращению вторых. Тем самым в ходе пульсационного развития Земли происходят относительные горизонтальные перемещения крупнейших континентальных блоков, «раскрытие» и расширение океанов и т. п., т. е. те же кинематические процессы, которые описывают, но пытаются объяснить с помощью совершенно иного глубинного механизма сторонники гипотезы тектоники плит.

5. В отдельные фазы геологической истории преобладало расширение или сжатие, но в разных районах Земли одновременно могли сосуществовать зоны сжатия, растяжения и сдвиговых деформаций, находившиеся между собой в сложных кинематических и структурных соотношениях. Можно говорить лишь о преобладании одной и ослаблении противоположной тектонической тенденции в соответствующие эпохи.

6. Проявления магматизма, особенно эффузивного, в основном связаны с фазами растяжения крупных и мелких пульсационных циклов⁵. Однако вследствие неоднородности структуры земной коры и сложности кинематической обстановки в отдельных регионах конкретные условия проявлений магматизма могут быть весьма различ-

⁵ Малообъемные эксплозивные проявления кимберлитового вулканизма, по-видимому, бывают приурочены к моментам перехода между фазами глобального сжатия и расширения [Мплановский, Мальков, 1980].

ными, что отражается, в частности, на составе его продуктов и формах, в которых происходит их извержение на поверхность или внедрение в различные горизонты коры.

7. Наряду с тектоническими деформациями и магматизмом крупные геопульсации проявляются в мировых трансгрессиях и регрессиях и через них в цикличности геоморфологических процессов, эпохах корообразования, периодичности климатических изменений, седиментационных циклах, цикличности формирования полезных ископаемых и пр.

8. Гипотеза пульсаций и расширения Земли не противопоставляется другим современным геотектоническим концепциям, а может быть увязана с ними и «вписана» в них как важный необходимый элемент, придающий пониманию истории Земли периодичность и направленность.

Предпринятая автором публикация серии работ по вопросам возможных пульсаций и расширения Земли в их взаимосвязи оживила интерес к этим проблемам, которые явились темой обсуждения специальной научной конференции, состоявшейся в Москве в конце 1981 г. [Милановский и др., 1983], и вызвала отклики в печати. По мнению Ю. А. Кдсыгина [1982], нынешняя обстановка в геологической науке отличается от обстановки 1940 г., когда публиковались работы В. А. Обручева и М. А. Усова, и поэтому идея о пульсирующей Земле, вновь высказанная «после накопления огромного фактического материала, в частности, по океанам, и рождения множества новых гипотез и подходов в изучении Земли, имеет первостепенное значение и нуждается в дальнейшей разработке. ...Она представляет, несомненно, очень большой научный интерес и, возможно, намечает наиболее правильный путь в исследовании развития структуры Земли».

За 80 лет после зарождения идеи геопульсаций и 50 лет после первого развернутого ее изложения пульсационная гипотеза Бухера — Усова — Обручева не только сохранила свое значение, но и была подкреплена новыми фактами и получила, особенно в последние 10—20 лет, существенное развитие, выдвинувшее ее в число ведущих теоретических концепций современной геотектоники, нуждающихся в дальнейшей разработке. К числу первоочередных задач исследований по проблеме геопульсаций относятся, в частности, более детальная и комплексная проверка реальности и оценка масштаба пульсаций, из-

меряемых первыми миллионами лет, путем постановки коллективных, проводимых по единой методике работ по хронологической корреляции деформаций сжатия и растяжения в разных зонах Земли, а также других геологических явлений, которые могут находиться в причинной связи с геопульсациями — проявлений вулканизма (с их количественной оценкой), глобальных осцилляций уровня океана и др. Необходимо продолжать и расширять гравиметрические, астрономические и геодезические исследования по изучению современных глобальных изменений силы тяжести, скорости вращения, размеров и формы Земли. Требуют проверки предположения о том, что геопульсации могут сопровождаться долговременными направленными изменениями объема Земли — ее общим сжатием или, что более вероятно, расширением; необходима более или менее достоверная оценка масштаба этих изменений. Наконец, следует усилить исследования проблемы возможных факторов и механизмов (внутренних и внешних, космических), могущих обусловить предполагаемые периодические изменения размеров и формы нашей планеты.

Отмечая публикацией этого сборника 100-летие со дня рождения М. А. Усова, мы не можем не вспомнить среди многих научных достижений и идей этого замечательного исследователя то, что он, со свойственной ему глубокой интуицией одним из первых высказал гипотезу пульсаций Земли, получившую в последующее время значительное развитие, как одно из перспективных направлений на путях познания основных закономерностей геологической эволюции нашей планеты.

ЛИТЕРАТУРА

- Архангельский А. Д. Предисловие к книге Д. Джоли «История поверхности Земли». М.— Л.: ГИЗ, 1929, с. V—VI.
- Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 608 с.
- Боголепов М. Происхождение лика Земли.— Землеведение, 1922, кв. 3—4, с. 81—104.
- Буланже Ю. Д. Постоянна ли сила тяжести?— Земля и вселенная, 1981, № 4, с. 10—14.
- Быханов Е. В. Астрономические предрассудки и материалы для составления новой истории образования планетной системы. Ливны, 1877.
- Долицкий А. В., Кийко А. А. О причинах деформации земной коры.— В кн.: Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963, с. 291—311.

- Казаринов В. П.** На путях раскрытия палеогеографических закономерностей в развитии Земли.— Бюл. МОИП, Отд. геол., 1976, № 2, с. 5—32.
- Казаринов В. П.** Пульсации Земли.— Бюл. МОИП, Отд. геол., 1979, № 3, с. 92—109.
- Казьмин В. Г.** Эпохи рифтогенеза и некоторые вопросы происхождения рифтовых структур.— Геол. и геофиз., 1975, № 9, с. 3—12.
- Каттерфельд Г. Н.** Лик Земли и его происхождение. М.: Географгиз, 1962. 152 с.
- Косыгин Ю. А.** Заметки о геотектонических гипотезах. Заметка четвертая. Геотектонические гипотезы Е. Е. Милановского и А. И. Суворова.— Тихоокеан. геол., 1982, № 5, с. 117—120.
- Кропоткин П. Н.** Возможная роль космических факторов в геотектонике.— Геотектоника, 1970, № 2, с. 30—46.
- Кропоткин П. Н.** Проблемы геодинамики.— В кн.: Тектоника в исследованиях Геологического института АН СССР. М.: Наука, 1980, с. 176—247.
- Кропоткин П. Н.** Что происходит с Землей?— Знание — сила, 1982, № 9, с. 7—9.
- Кунин Н. Я., Сардонников Н. М.** О цикличности геологических и геофизических процессов.— Бюл. МОИП. Отд. геол., 1973, № 5, с. 144.
- Ле Пшон К., Франшто Ж., Боннин Ж.** Тектоника плит. М.: Мир, 1977. 288 с.
- Ларин В. Н.** Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Недра, 1975. 100 с.; 2-е изд., 1980. 216 с.
- Лунгерсгаузен Г. Ф.** О периодичности геологических явлений и изменении климата прошлых геологических эпох.— В кн.: Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963, с. 7—49.
- Лунгерсгаузен Г. Ф.** О периодических изменениях климата в геологическом прошлом Земли.— В кн.: Земля во вселенной. М.: Мысль, 1964, с. 260—277.
- Максимов С. П., Кунин Н. А., Сардонников Н. М.** Цикличность геологических процессов и проблема нефтегазовосности. М.: Недра, 1977. 280 с.
- Мартыанов Н. Е.** Энергия Земли. Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1968. 84 с.
- Милановский Е. Е.** Некоторые закономерности тектонического развития и вулканизма Земли в фанерозое (проблема пульсации и расширения Земли).— Геолошки анали Балканскога полуострова. Кн. XI(I). Белград, 1977, с. 1—19; То же.— Геотектоника, 1978а, № 6, с. 3—16.
- Милановский Е. Е.** Расширение и пульсации Земли — возможный ключ к пониманию ее тектонического развития и вулканизма в фанерозое.— Природа, 1978б, № 7, с. 20—34.
- Милановский Е. Е.** Тектоническое развитие Земли в фанерозое в свете представлений о ее пульсациях и расширении.— В кн.: Тектоника. Геология альпид «тетисного» происхождения. Докл. сов. геол. на Междунар. геол. конгрессе. М.: Наука, 1980, с. 15—25.
- Милановский Е. Е.** Развитие и современное состояние проблемы расширения и пульсаций Земли.— Изв. вузов. Геол. и разв., 1982а, № 7, с. 3—29.

- Милановский Е. Е.** Распиряющаяся и пульсирующая Земля. — Природа. 1982б, № 8, с. 46—59.
- Милановский Е. Е.** Расширение Земли в плиоцене — антропогене как проявление глобального пульсационного режима ее тектонического развития. XI Конгр. ИНКВА. Тезисы докладов. Т. III. М., 1982в, с. 225—226.
- Милановский Е. Е.** Земля распиряется? Земля пульсирует? — Знание — сила. 1982, № 9, с. 6—9.
- Милановский Е. Е.** Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах). М.: Недра, 1983. 280 с.
- Милановский Е. Е., Мальков Б. А.** Эпохи кимберлитового вулканизма и глобальная пульсация Земли. — Докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 5, с. 1203—1207.
- Милановский Е. Е., Филатова Л. П., Никишин А. М.** О конференции по проблемам расширения и пульсаций Земли. — Вестн. МГУ. Сер. геол., 1983, № 1, с. 94—95.
- Найдин Д. П.** Об изменениях уровня мирового океана в мезозое и кайнозое. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1971, № 3, с. 10—18.
- Обручев В. А.** Пульсационная гипотеза геотектоники. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1940, вып. 1, с. 12—30.
- Обручев В. А.** Основные черты кинетики и пластики неотектоники. — Изв. АН СССР. Сер. геол., № 5, 1948, с. 13—24.
- Орлова А. Е.** Изменения климата как показатель неравномерной скорости ее вращения. — В кн.: Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963, с. 50—121.
- Парийский Н. Н.** Неравномерность вращения Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1954.
- Попов В. И.** О непрерывности тектонических движений. Ташкент: Изд-во Ком. наук УзССР, 1938. 62 с.
- Пронин А. А.** Каледонский цикл тектонической истории Земли. Л.: Наука, 1969. 231 с.
- Пронин А. А.** Герцинский цикл тектонической истории Земли. Л.: Наука, 1969. 105 с.
- Пронин А. А.** Альпийский цикл тектонической истории Земли. Мезозой. Хронология тектонических движений. Л.: Наука, 1973а. 222 с.
- Пронин А. А.** Альпийский цикл тектонической истории Земли. Кайнозой. Л.: Наука, 1973б. 200 с.
- Северный А. Б.** Глобальные колебания и внутреннее строение Солнца. Гелиосейсмология. — Вестн. АН СССР, 1981, № 11, с. 62—68.
- Ступак Н. С.** О пульсации Земли. — В кн.: Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат. 1963, с. 285—290.
- Тетяев М. М.** Основы геотектоники. М.— Л.: ОНТИ, 1934. 289 с.
- Усов М. А.** Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936. 209 с.
- Усов М. А.** Сжатие и расширение Земли. — В кн.: Международный геологический конгресс. XVII сессия, 1937 (Тезисы докладов). М.— Л.: ОНТИ, 1937, с. 145; То же в кн.: Труды XVII сессии МГК, 1937. Т. 2. М.: ГОНТИ, 1939, с. 661—662.
- Усов М. А.** Структурная геология. М.— Л.: Госгеолиздат, 1940. 135 с.
- Усов М. А.** Геотектоническая теория саморазвития материи Земли. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1940б, вып. 1, с. 3—11.
- Ханин В. Е.** Общая геотектоника. М.: Недра, 1964, 512 с.

- Хаин В. Е.** Цикличность и тектоника.— В кн.: Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М.: Наука, 1977, с. 213—221.
- Цареградский В. А.** К вопросу о деформациях земной коры.— В кн.: Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963, с. 149—221.
- Цареградский В. А.** Закономерные долгопериодические изменения земного вращения и сопряженные с ними деформации земной коры.— В кн.: Земля во вселенной. М.: Мысль, 1964, с. 237—259.
- Шатский Н. С.** О неокатастрофизме.— Проблемы сов. геол., 1937, № 7.
- Шатский Н. С.** О длительности складкообразования и фазах складчатости.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1951, № 1, с. 15—53.
- Яншин А. Л.** О так называемых мировых трансгрессиях и регрессиях.— Бюл. МОИП. Отд. геол., 1973, № 2, с. 9—44.
- Angelier J.** Tectonic evolution of the Hellenic arc since the late Miocene.— Tectonophysics, 1978, v. 49, p. 23—36.
- Bogolepov M.** Die Periodizität der vulkanischen Erscheinungen auf der Erde.— Bull. Soc. Natur. Moscou, 1909, N 1.
- Bogolepov M.** Die Dehnung der Lithosphäre.— Z. Dtsch. geol. Ges., 1930, Bd 82, S. 206—228.
- Bucher W. H.** Probable cause of the localisation of the major geosynclines (abstract).— Geol. Soc. Amer. Bull., 1921, v. 32, p. 15.
- Bucher W. H.** The pattern of the Earth's mobile belts.— J. Geol. 1924, v. 32, p. 262—290.
- Bucher W. H.** The deformation of the Earth's crust. Princeton Univ. press, 1933. 516 p.
- Bucher W. H.** Versuch einer Analyse der grossen Bewegungen der Erdkruste.— Geol. Rundschau, 1939, Bd 30, H. 3/4, S. 285—296.
- Bucher W. H.** Deformation in orogenic belts.— Geol. Soc. Amer., Spec. paper, 1955, v. 62, p. 343—368. (Русск. пер.: Бухер У. Деформации в орогенических поясах.— В кн.: Земная кора. М.: ИЛ, 1957, с. 348—351.).
- Cloos H.** Hebung-Spaltung — Vulkanismus. — Geol. Rundschau, 1939, Bd 30, Zmischenheft 4A.
- Grabau A. W.** Revised classification of the paleozoic systems in the light of the pulsation theory.— Bull. Geol. Soc. China, 1936, v. 15, p. 23—51.
- Hancock I. M., Kaufman E. G.** The great transgressions of the late cretaceous.— J. Geol. Soc. London, 1979, v. 136, p. 175—186.
- Joly J.** The surface history of the Earth. London, 1924. (Русск. пер.: Джоли Д. История поверхности Земли. М.—Л.: ГИЗ, 1929. 192 с.).
- Mercier J.-L.** L'arc Egeen, une bordure déformée de la plaque euroasiatique; réflexions sur un exemple d'étude néotectonique.— Bull. Soc. Geol. France, 1977 (7), v. XIX, N 3, p. 663—672.
- Meulenkamp J. E.** On the pulsating evolution of the Mediterranean. Episodes, 1982, N 1, p. 13—16.
- Milanovski E. E.** Czy powrót do hipotezy pulsacji Ziemi?— Problemy. Warszawa, 1978, N 11, p. 47—48, 57—58.
- Milanovskij E. E.** Einige Gesetzmäßigkeiten der tektonischen und magmatischen Entwicklung der Erde während des Phanerozoikums.— Z. geol. Wiss. Berlin, 1979, Bd 7, N 3, S. 323—335.

- Milanovsky E. E.** Problems of the tectonic development of the Earth in the light of concept on its pulsations and expansion.— Rev. Geol. dynam. geogr. phys., 1980, v. 22, Fasc. 1, p. 15—27.
- Nölke F.** Geotektonische Hypothesen. Berlin.— Borntraeger, 1924. 128 S.
- Quiring H.** Die Fortsetzung des Siegener Hauptsattels in den Ardennen.— 7. Dtsch. geol. Ges., 1933, Bd 85, S. 214—228.
- Rothpletz A.** Ueber die Möglichkeit den Gegensatz zwischen Kontraktionen und Expansions-theorie aufzuheben.— Sitzungsber. math.-phys. Kl. Bayerischen Akad. Wiss., 1903, Bd 32. S. 311—325.
- Schneiderov A. J.** The plutono- and tectono-physical processes in an expanding Earth.— Bol. Geofis. Teorica Appl., 1961, v. 3(11), p. 215—240.
- Schwan W.** Geodynamic peaks in alpinotype orogenies and changes in ocean-floor spreading during Late Jurassic — Late Tertiary time.— Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., 1980, v. 64, N 3, p. 359—373.
- Sheridan R. E.** Phenomena of pulsation tectonics related to the breakup of the eastern North — American continental margin.— Tectonophysics, 1983, v. 94, p. 169—185.
- Stille H.** Grundfragen der vergleichengen Tektonik. Berlin. Borntraeger, 1924. 448 S.
- Termier H., Termier G.** Pulsations alternées Tethys — Atlantique — une clef de l'histoire terrestre? C. R. Acad. Sci. Paris, 1977, D—284, N 19, p. 1867—1870.
- Umbgrove J. H. F.** The pulse of the Earth. Nijhoff. The Hague, 1947.
- Umbgrove J. H. F.** Rhythm and synchronism of tectonic movements.— Amer. J. Sci., 1950, v. 248, p. 521—526.
- Vail P. R., Hardenbol I.** Sea level changes during the tertiary.— Oceanus, 1979, v. 22, p. 71—79.
- Vail P. R., Mitchum R. M.-Jr., Thomson S.** 111. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Pt. 3. Relative changes of sea level from coastal onlap.— In: Seismic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration. V. 26, A. A. P. G. Mem., 1977, p. 63—81.

В. П. КАЗАРИНОВ

РАЗРАБОТКА ГИПОТЕЗЫ

ПУЛЬСАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

В ТРУДАХ М. А. УСОВА И В. А. ОБРУЧЕВА

Представления о чередовании во времени эпох сжатия и расширения Земли в 30-х и начале 40-х годов трудами В. Бухера, М. М. Тетяева, М. А. Усова, В. А. Обручева, взгляды которых будут излагаться ниже, распространились и получили форму гипотезы пульсационного развития Земли. Гипотеза прошла длинный путь; она

критиковалась. В наше время пульсационная гипотеза вновь возвращается к активной жизни [Кропоткин, 1973; Милановский, 1978; и др.]. Многие ученые начинают отводить ей одно из главных мест в понимании истории геологического развития. Другие, опираясь на нее, работают над ее усовершенствованием.

Как часто случается на поворотных рубежах науки, новые идеи появляются и развиваются сразу в умах нескольких ученых. Они созревают, подготавливаются всем ходом развития науки. Так, и пульсационная гипотеза развития Земли появилась одновременно в СССР и США. Ее авторами были М. М. Тетяев и В. Бухер. В. Бухер основы пульсационной гипотезы изложил в книге «Деформация земной коры», опубликованной в США в 1933 г. Ее некоторые фрагменты высказывались им и ранее. К этой теме он возвращался и в более поздних публикациях [Busher, 1939]. Он писал, что тектонические напряжения в истории Земли то усиливаются, то ослабевают, отражая смену этапов сжатия и растяжения планет. Эти пульсации сравнивались с работой сердца: растяжение — диастолическая, а сжатие — систолическая фазы развития. При расширении подкорового вещества земная кора утоняется и прогибается. Образующиеся геосинклинальные впадины затапливаются морем и заполняются осадками. В эти диастолические эпохи происходит выравнивание континентов и господствует основной эффузивный магматизм. При сжатии Земли происходит общий подъем и расчленение континентов, образуются горные хребты. Систолические эпохи всегда являются геократическими. Геосинклинальные прогибы испытывают сжатие и складчатость. Господствует кислый интрузивный магматизм.

Проявления крупных тектонических процессов — фаз складчатости, эпох обострения и сглаживания рельефа континентов, господства гео- или талассократии, кислого или основного магматизма — одновременны для всей Земли, поскольку все они связаны с ее пульсациями. В настоящее время Земля переживает конец систолической фазы.

Каждый раз при сжатии или растяжении внутреннего вещества Земли, ее тонкая кора вынуждена приспосабливаться к изменившемуся положению подкоровых масс и в связи с этим менять свое положение в отношении координат Земли. Эта часть гипотезы В. Бухера как бы кладет начало мобилистским представлениям. Касаясь

- Milanovsky E. E.** Problems of the tectonic development of the Earth in the light of concept on its pulsations and expansion.— Rev. Geol. dynam. geogr. phys., 1980, v. 22, Fasc. 1, p. 15—27.
- Nölke F.** Geotektonische Hypothesen. Berlin.— Borntraeger, 1924. 128 S.
- Quiring H.** Die Fortsetzung des Siegener Hauptsattels in den Ardennen.— 7. Dtsch. geol. Ges., 1933, Bd 85, S. 214—228.
- Rothpletz A.** Ueber die Möglichkeit den Gegensatz zwischen Kontraktionen und Expansions-theorie aufzuheben.— Sitzungsber. math.-phys. Kl. Bayerischen Akad. Wiss., 1903, Bd 32. S. 311—325.
- Schneiderov A. J.** The plutono- and tectono-physical processes in an expanding Earth.— Bol. Geofis. Teorica Appl., 1961, v. 3(11), p. 215—240.
- Schwan W.** Geodynamic peaks in alpinotype orogenies and changes in ocean-floor spreading during Late Jurassic — Late Tertiary time.— Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., 1980, v. 64, N 3, p. 359—373.
- Sheridan R. E.** Phenomena of pulsation tectonics related to the breakup of the eastern North — American continental margin.— Tectonophysics, 1983, v. 94, p. 169—185.
- Stille H.** Grundfragen der vergleichengen Tektonik. Berlin. Borntraeger, 1924. 448 S.
- Termier H., Termier G.** Pulsations alternées Tethys — Atlantique — une clef de l'histoire terrestre? C. R. Acad. Sci. Paris, 1977, D—284, N 19, p. 1867—1870.
- Umbgrove J. H. F.** The pulse of the Earth. Nijhoff. The Hague, 1947.
- Umbgrove J. H. F.** Rhythm and synchronism of tectonic movements.— Amer. J. Sci., 1950, v. 248, p. 521—526.
- Vail P. R., Hardenbol I.** Sea level changes during the tertiary.— Oceanus, 1979, v. 22, p. 71—79.
- Vail P. R., Mitchum R. M.-Jr., Thomson S.** 111. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Pt. 3. Relative changes of sea level from coastal onlap.— In: Seismic stratigraphy-application to hydrocarbon exploration. V. 26, A. A. P. G. Mem., 1977, p. 63—81.

В. П. КАЗАРИНОВ

РАЗРАБОТКА ГИПОТЕЗЫ

ПУЛЬСАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

В ТРУДАХ М. А. УСОВА И В. А. ОБРУЧЕВА

Представления о чередовании во времени эпох сжатия и расширения Земли в 30-х и начале 40-х годов трудами В. Бухера, М. М. Тетяева, М. А. Усова, В. А. Обручева, взгляды которых будут излагаться ниже, распространились и получили форму гипотезы пульсационного развития Земли. Гипотеза прошла длинный путь; она

критиковалась. В наше время пульсационная гипотеза вновь возвращается к активной жизни [Кропоткин, 1973; Милановский, 1978; и др.]. Многие ученые начинают отводить ей одно из главных мест в понимании истории геологического развития. Другие, опираясь на нее, работают над ее усовершенствованием.

Как часто случается на поворотных рубежах науки, новые идеи появляются и развиваются сразу в умах нескольких ученых. Они созревают, подготавливаются всем ходом развития науки. Так, и пульсационная гипотеза развития Земли появилась одновременно в СССР и США. Ее авторами были М. М. Тетяев и В. Бухер. В. Бухер основы пульсационной гипотезы изложил в книге «Деформация земной коры», опубликованной в США в 1933 г. Ее некоторые фрагменты высказывались им и ранее. К этой теме он возвращался и в более поздних публикациях [Busher, 1939]. Он писал, что тектонические напряжения в истории Земли то усиливаются, то ослабевают, отражая смену этапов сжатия и растяжения планет. Эти пульсации сравнивались с работой сердца: растяжение — диастолическая, а сжатие — систолическая фазы развития. При расширении подкорового вещества земная кора утоняется и прогибается. Образующиеся геосинклинальные впадины затапливаются морем и заполняются осадками. В эти диастолические эпохи происходит выравнивание континентов и господствует основной эффузивный магматизм. При сжатии Земли происходит общий подъем и расчленение континентов, образуются горные хребты. Систолические эпохи всегда являются геократическими. Геосинклинальные прогибы испытывают сжатие и складчатость. Господствует кислый интрузивный магматизм.

Проявления крупных тектонических процессов — фаз складчатости, эпох обострения и сглаживания рельефа континентов, господства гео- или талассократии, кислого или основного магматизма — одновременны для всей Земли, поскольку все они связаны с ее пульсациями. В настоящее время Земля переживает конец систолической фазы.

Каждый раз при сжатии или растяжении внутреннего вещества Земли, ее тонкая кора вынуждена приспосабливаться к изменившемуся положению подкоровых масс и в связи с этим менять свое положение в отношении координат Земли. Эта часть гипотезы В. Бухера как бы кладет начало мобилистским представлениям. Касаясь

ее, В. А. Обручев [1940, с. 15] писал: «Каждый раз происходит действительное перемещение континентальных масс на поверхности, настоящий эпифорез, конечно, не в тех размерах, которые принимают крайние мобилисты, но все-таки в том же смысле. Это и представляет смещение цоколей материков относительно земного ядра, которое Зюсс, Вегманн и другие находят в структуре древнего фундамента (Gründgebirge)». Эти данные, очевидно, и позволили П. Н. Кропоткину [1973] предложить для создания всеобъемлющей теории скомбинировать пульсационную и мобилистскую гипотезы в единое целое.

Независимо от В. Бухера и почти одновременно с ним пульсационная гипотеза была в общем виде сформулирована М. М. Тетяевым. Она изложена им в 1934 г. в книге «Основы геотектоники». Некоторые положения пульсационной гипотезы он высказывал и раньше. Гипотеза опирается на главное положение диалектического материализма — движение как способ существования материи является взаимодействием притяжения и отталкивания. В процессах геологического развития выражается как сжатие и расширение.

Пульсационную гипотезу М. М. Тетяева много критиковали. Так, М. А. Усов был не согласен с тем, что ведущее место в развитии принадлежит расширению, а «тангенциальный диастрофизм представляет лишь одну или несколько временных фаз в течение этого цикла, будучи вызван сопротивлением земной коры общему поднятию масс» [1940, с. 127]. В. А. Обручев [1940] также обращает внимание на то, что сжатие у М. М. Тетяева отводится лишь небольшая роль в эволюционный период, а в революционный оно не имеет значения. Поэтому всю гипотезу он не считает пульсационной, а относит к гипотезам расширяющейся Земли. Н. М. Страхов [1948] вообще считает гипотезу М. М. Тетяева лишь собранием условных словесных символов, за которыми не скрывается конкретного физического содержания. Ему как бы вторит В. Е. Хайн: «Следует отметить, что ...о пульсациях в самой общей и довольно туманной форме... писал М. М. Тетяев» [1973, с. 188] и т. д.

Пульсационную гипотезу развития Земли разрабатывал М. А. Усов. Краткое изложение своих взглядов по этой проблеме он опубликовал в 1935 г. в работе о геологии рудных месторождений Западно-Сибирского края. Затем они более полно излагались в последующих работах: «Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского

края» [1936, 1937], «Геотектоническая теория саморазвития материи Земли» [1940a] и, наконец, в работе, опубликованной после его кончины, «Структурная геология» [1940б]. М. А. Усов, очевидно, предполагал и далее работать над проблемой, так как во всех сделанных публикациях отмечаются предварительность и схематичность излагаемого. И все же, как мне представляется, он наиболее обстоятельно, с присущей ему ясностью изложил пульсационную гипотезу, которую назвал «геотектонической теорией саморазвития материи Земли».

Процесс развития Земли протекает в результате борьбы двух имманентных противоречивых начал земной материи — сжатия и расширения и имеет непрерывно-прерывистый характер. Эти начала в условиях Земли имеют форму сжатия и расширения, чередующихся между собой. «Сжатие и расширение земной коры суть не пассивные формы тектогенеза под влиянием каких-то внешних сил, — писал М. А. Усов, — а особые фазы притяжения и отталкивания в саморазвитии материи Земли как части космоса... Небесные тела, к которым относится Земля, представляются как узлы сгущения мировой материи, происходящего вследствие притяжения, которое обычно формулируется как закон всемирного тяготения [1940a, с. 124]. И далее: «На определенной ступени сжатия материи крупного небесного тела электроны и позитроны вещества сбиваются в более плотные атомы с большим атомным весом». Притяжение между частицами приводит к сжатию тела Земли, а отталкивание — к накоплению внутренней энергии, приводящей к расширению. Ведущим процессом этого основного противоречия является сжатие земной материи, далеко не закончившееся, как это видно из преобладающих структур земной коры и плотности различных небесных тел.

М. А. Усов отмечал, что при развитии материи Земли происходит ряд качественных ее изменений, сопровождающихся скачками в сжатии и расширении тела Земли или фазами тектогенеза земной коры. Выделяются две фазы циклического саморазвития материи Земли: «Фаза относительно спокойного количественного развития и фаза скачкового перехода количества в новое качество» [1940a, с. 3]. И далее: «Борьба сжатия и расширения сопровождается переменным их успехом при ведущей роли сжатия» [Там же, с. 4]. Фазы тектогенеза имеют всеобщий характер, находя различное выражение в зависимости от интенсивности скачков и от свойств радиальных участков

земной коры. Фазы сжатия выражаются в виде геосинклинальной и глыбовой складчатости и эпейрогенных волновых движений, а также резкой смены фаций в непрерывной серии отложений. Фазы расширения проявляются в сбросовых и магматических движениях. Фазы сжатия перемежаются с фазами расширения.

В противоположность взглядам других исследователей М. А. Усов предлагал признать следующие положения:

«1. Земля не потому сжимается, что охлаждается, а потому охлаждается, что сжимается (т. е. он повторяет вывод В. М. Букановского, 1932.— В. К.);

2. Тело Земли представляет концентрические геосферы, состоящие из все более тяжелых с глубиной атомов, которые образовались в этих зонах соответственно физико-химическим условиям, а не распределились по удельному весу, как готовые элементы, в жидкую фазу Земли;

3. Вещество глубоких зон Земли находится в твердом агрегатном состоянии, которое, впрочем, отличается от твердого состояния земной коры тем, что при уменьшении давления вещество может перейти в жидкое состояние;

4. Совершенно не приходится противопоставлять твердую земную кору жидкой пиросфере, а нужно считать, что магма есть историческое образование, появляющееся в связи с тектоническими движениями» [1940б, с. 124—125].

И еще одно важное обстоятельство. Фазы тектогенеза устанавливаются не только по наличию углового несогласия, которому М. А. Усов отводит главную роль. «Большое значение,— писал он,— следует придавать также базальным конгломератам, галька которых состоит из пород с реликтивными тектоноструктурами. С другой стороны, отнюдь не всегда новая формация начинается конгломератами, нередко базальный горизонт бывает представлен тонкозернистыми осадками и даже известняками» [1937, с. 638]. Кроме того, имеются и другие критерии выделения формаций (равно и фаз тектогенеза), по М. А. Усову, которые в ряде случаев получают большое практическое значение: 1) литологический состав осадочных пород, который существенно изменяется лишь при перестройке суши, что происходит преимущественно в фазе тектогенеза; 2) степень метаморфизма; 3) фазы состояния эффузивов; 4) фациальность как осадочных, так и магматических пород при рассмотрении формации в вертикальном разрезе; 5) следы древнего выветривания на породах основания формации.

И наконец, М. А. Усов полагал, что «борьба между сжатием и расширением Земли, вследствие усложнения всяких процессов, с течением времени обостряется. Это явствует из того, что фазы тангенциального диастрофизма за последние геологические периоды стали все более частыми и напряженными» [1940, с. 127].

Последней в ряде работ, посвященных пульсационной гипотезе развития Земли, была статья академика В. А. Обручева — «Пульсационная гипотеза геотектогенеза», опубликованная в 1940 г. Эта гипотеза, по мнению автора статьи, должна сменить господствующую до сих пор контракционную концепцию. Сам факт присоединения В. А. Обручева к пульсационной теории, сделанные им разъяснения и дополнения, полнота и ясность изложения во многом содействовали успеху этой доктрины. Ее содержание в изложении В. А. Обручева сводится к следующим положениям:

1. До образования земной коры господствовало притяжение. Оно обуславливало сокращение объема Земли и распределение материала внутри ее по удельному весу. Отталкивание в это время сводилось к лучеиспусканию и выбросу протуберанцев.

2. После образования коры отталкивание стало проявляться как расширение, с образованием трещин, дающих выход магме. Потеря тепла стала осуществляться через лавы, газы и поры, а лучеиспускание ослабло. «Эта потеря тепла и перемещение вещества из недр в слои земной коры и на ее поверхность обуславливают сокращение земного ядра в его поверхностном слое и движения в земной коре, приспособляющейся к новому объему ядра. Этим выражается деятельность сил притяжения, создающая складчатость и другие смещения, вызванные неизбежным сжатием слоев коры» [Обручев, 1940, с. 24].

3. Расширение Земли вызывается дифференциацией магмы, переходящей из твердого состояния в жидкое. Под влиянием притяжения Солнца и Луны в жидкой магме возникают конвекционные течения.

4. Твердый слой Земли оказывает сопротивление силам сжатия и расширения. Благодаря этому накапливается энергия, которая разрешается скачками раскалывания и складчатостью.

5. Господство расширения Земли, которое отстаивает М. М. Тетяев, и господство ее сжатия, за которое выступает М. А. Усов, приводят Землю к потере коры путем ее расплавления в первом случае и к прекращению вся-

ких движений во втором. Ни с тем ни с другим согласиться нельзя.

6. В непрерывно-прерывистом ходе развития более длительные эволюционные эпохи чередуются с революционными, относительно краткими эпохами. Те и другие состоят из более коротких этапов сжатия и растяжения. «Длительные эпохи можно назвать циклами, короткие — фазами. Каждому циклу подчинено большее или меньшее число фаз. Фазы сжатия и расширения, чередующиеся друг с другом, представляют пульсации, сравнимые с движениями живого сердца» [Обручев, 1940, с. 25].

7. Расширение Земли выражается в растяжении мобильных поясов с образованием геосинклиналей. Разнофациальность накапливающихся в них осадков свидетельствует о прерывистом характере погружения. Расширение происходит с остановками, необходимыми для накопления энергии.

8. При сжатии Земли осадки, накопившиеся в геосинклиналях, подвергаются складчатости. Она протекает также прерывисто.

9. Магматическая деятельность связана с циклами и фазами расширения. В эти периоды магма переходит из твердого состояния в жидкое и поднимается по раскрывающимся трещинам в геосинклиналях. В стабильных зонах магма из магматического слоя доходит до поверхности и образует излияния.

10. Кислые магмы образуются в результате переплавления и ассимиляции осадочных пород в глубоких зонах геосинклинальных погружений.

11. Образование ортогнейсов и вообще развитие гнейсовой текстуры в интрузивных породах определяются сжатием, когда интрузия находится еще в достаточно пластичном состоянии.

12. Изостатическое выравнивание происходит в эволюционный период. Поднимаются блоки, сложенные легкими породами, и, наоборот, опускаются тяжелые блоки.

13. В эволюционные периоды продолжается борьба сжатия и расширения, но только в более спокойной форме.

14. «История развития Земли, — заключает В. А. Обручев, — слагается из продолжительных эволюционных периодов, в течение которых борьба сжатия и расширения не прекращается, но ослабевает и выражается медленными колебательными движениями и изостатическим выравниванием тех нарушений равновесия, которые возникли в революционные периоды. Последние, сменяю-

щие эволюционные, отличаются от них меньшей продолжительностью и усилением борьбы сжатия и расширения, которая разрешается скачкообразно и приводит к резким изменениям рельефа земной поверхности. Каждый из периодов, которые можно назвать циклами, состоит из большего или меньшего количества фаз, соответствующих временным победам сжатия или расширения. Возможно, что в фазах, как полагает Усов, придется еще различать субфазы» [Обручев, 1940, с. 27].

15. Современный этап развития Земли представляет собой начало эволюционного цикла. Он сменил революционный этап, охвативший вторую половину третичного и первую половину четвертичного периода и приведший к созданию Альп, Кордильеров, Анд, Гималаев, гор Северо-Восточной Сибири и др.

Статьей В. А. Обручева, а также посмертно опубликованной книгой М. А. Усова «Структурная геология», где в конспективной форме изложены его представления о саморазвитии материи Земли, завершилась серия работ по установлению и расшифровке общих закономерностей развития планеты.

* *
*

Пульсационная гипотеза, несомненно, является крупным достижением геологической мысли по раскрытию и объяснению глобальных закономерностей в развитии Земли. Это развитие проходит через сменяющиеся во времени этапы сжатия и расширения, что приводит к чередованию эпох тектонической активности и эпох относительного тектонического покоя. Фиксируются непрерывные пульсации Земли.

В догеологическое время пульсации приводили к сжатию космической туманности, как полагает вслед за Кантом и Лапласом М. М. Тетяев, или сгустка солнечного вещества, после очередного выброса Солнца, как предполагает Н. Е. Мартыянов [1968]. После того, как на сжимающемся шаре образовалась земная кора, господствующая роль, считал М. М. Тетяев, переходит к расширению; М. А. Усов полагал, что и после этого события примат остается за сжатием. Поэтому он допускал, что складчатость, орогенез и диастрофизм вообще определяются сжатием. В это же время разворачиваются интрузивный процесс становления кислых магм и регрессия моря. М. М. Те-

тяев складчатость и следующий за ней кислый магматизм выводил из расширения. В. А. Обручев и Н. Е. Мартьянов считали неправомерным противопоставлять радиальный и тангенциальный тектогенез друг другу. В. Бухер трансгрессии моря, ослабление тектонической активности и основной магматизм связывал с этапами расширения планеты, а складчатость, орогенез и регрессии моря — с этапами сжатия Земли. Н. Е. Мартьянов допускал, что трансгрессии являются следствием сжатия планеты, а регрессии — ее расширения, т. е. диаметрально противоположно высказываниям В. Бухера и других. Одним словом, пульсационную гипотезу в настоящее время в единое целое связывает лишь представление о пульсациях объема Земли. Связь их с крупнейшими геологическими событиями в жизни планеты — изменениями в тектонической активности и палеогеографических обстановок — понимается сторонниками пульсационной гипотезы различно. Неполнота и расплывчатость при формулировках основных понятий у ее основоположников проистекали из того, что они пользовались лишь арсеналом тектонических понятий, не привлекая к анализу обширных материалов по другим разделам геологии.

Нет полноты и единства в понимании самих пульсаций объема Земли. Как изменяется ее радиус — на метры, километры, сотни или даже тысячи километров? Об этом ни у В. Бухера, ни у М. М. Тетяева, ни у М. А. Усова, ни у В. А. Обручева не говорится. Так, например, В. А. Обручев [1940] расширение Земли связывал с образованием трещин, которые заполняются магмой. Магма застывает и при очередном сжатии не дает Земле уменьшиться до прежних размеров. Очевидно, о больших изменениях размера планеты при такой трактовке говорить не приходится. М. А. Усов писал о том, что изменения атомического состояния с резким скачком объема может происходить в пределах отдельных горизонтов Земли. И тогда «скачок выражается в уменьшении объема в виде соответствующего увеличения мощности более плотной геосферы за счет менее плотной оболочки... периферическая часть Земли сокращается... и наступает тангенциальный диастрофизм» [Усов, 1940, с. 126]. Такое выборочное, послойное изменение физико-химических условий, увеличение одной геосферы за счет уплотнения другой может, очевидно, происходить без общего увеличения (или уменьшения) радиуса Земли или при его весьма небольших изменениях. И поэтому не случайно, что ближай-

ший ученик М. А. Усова — Г. Л. Поспелов при беседе с автором этих строк полагал, что сторонникам пульсационной гипотезы следует говорить не столько о сжатии и расширении Земли, сколько о тенденциях сжатия и расширения.

Напомним, что В. А. Обручев писал о том, что фазы растяжения сопровождаются спокойным прогибанием бассейнов, а фазы сокращения Земли приводят к сжатию геосинклиналей и подъему горных хребтов; они соответствуют орогеническим фазам Г. Штилле. При этом положение различных частей коры изменяется, однако перемещение участков коры не достигает масштабов, допускаемых мобилистами. Этот вывод П. Н. Кропоткин [1967, с. 36] интерпретировал так: «Подразумевается горизонтальное перемещение промежуточных глыб земной коры от зон растяжения к зонам сжатия. Масштаб перемещения зависит только от принятого коэффициента сокращения поверхности Земли при образовании складок и надвигов».

Основываясь на приведенных положениях, П. Н. Кропоткин делает вывод об одновременности проявлений сжатия и расширения. Он полагал, что одновременно развивающиеся океанические впадины и континентальные блоки формировались под контролем разных начал: первые — в условиях растяжения, вторые — сжатия [1973]. «Так как нет оснований допускать большое уменьшение радиуса Земли,— писал он,— то нужно думать, что сокращение компенсировалось таким же по величине увеличением поверхности в других зонах, т. е. в областях растяжения земной коры» [1967, с. 28]. Примерно также высказывались Г. Тарлинг и М. Тарлинг [1973, с. 10]: «Если эффекты сжатия и растяжения распределяются неравномерно на поверхности Земли, то элементарным геометрическим следствием многократного попеременного сжатия и растяжения должен быть дрейф промежуточных глыб от зон растяжения к зонам сжатия — например, движение Сирийско-Аравийской плиты от грабенов Красного моря и Аденского залива в сторону складчатых хребтов Тавра, Загроса и Кавказа». Близких взглядов придерживался П. Н. Кропоткин, который решение вопроса о закономерностях развития Земли искал на путях объединения пульсационной гипотезы с гипотезой мобилизма.

В отличие от других сторонников пульсационной гипотезы, Н. Е. Мартьянов [1968] говорил о крупных изменениях размеров Земли. Размеры ее расширения он,

например, определял шириной Атлантического океана. Исследователь полагал, что в эпоху сжатия все континенты соединились между собой и незаполненным оставалось только пространство Тихого океана.

Нет в пульсационной гипотезе и ясного представления о рангах и взаимосвязях разных пульсаций. В. А. Обручев говорил о циклах и фазах — пульсациях меньшего размера. Он, вслед за М. А. Усовым, считал, что пульсации изменяются от крупных размахов до мелких трепетаний. Однако, какие пульсации отвечают первому, какие второму и какие промежуточному рангу, им не показано. Все это остается в зоне крайне неопределенных понятий, существуя как представление, не приведенное к масштабу земных явлений.

Итак, пульсационная гипотеза не имеет однозначного толкования. Высказывания ее авторов разноречивы. Кроме того, они облечены в весьма общую, не конкретную форму, порой опираясь лишь на философские положения и логику. Кроме того, некоторые положения гипотезы изложены схематично и могут иметь различное толкование. И все же, несмотря на преобладание умозрительных построений, значение пульсационной гипотезы неопределимо. Она убедительно показывает, что развитие Земли протекало вследствие смен эпох сжатия и расширения планеты как единого материального целого. Эти пульсации определяют развитие всех геосфер. В отличие от других гипотез пульсационная гипотеза с той или иной полнотой может отвечать на многие вопросы, связанные с проблемой развития Земли, и в частности на вопрос о причинах циклического характера разрезов осадочных толщ всех возрастов, а также циклического (пульсационного) хода становлений интрузий.

ЛИТЕРАТУРА

- Букановский В. М. К вопросу о диалектике развития Земли. — В кн.: За марксистско-ленинскую перестройку геолого-разведочных наук. М. — Л.: изд. Союзного геол.-развед. объединения, 1932, с. 65—104.
- Кропоткин П. Н. Механизмы движения земной коры. — Геотектоника, 1967, № 5, с. 25—40.
- Кропоткин П. Н. Динамика земной коры. — В кн.: Проблемы глобальной тектоники. М.: Наука, 1973, с. 27—59.
- Мартьянов Н. Е. Энергия Земли. Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1968. 84 с.
- Милановский Е. Е. Некоторые закономерности тектонического развития и вулканизма Земли в фанерозое (проблемы пульсации и расширения Земли). — Геотектоника, 1978, № 6, с. 3—16.

- Обручев В. А. Пульсационная гипотеза геотектоники.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1940, вып. 1, с. 12—30.
- Страхов Н. М. Основы исторической геологии. М.: Госгеолиздат, 1948, ч. I. 249 с.; ч. II. 387 с.
- Тарлинг Г., Тарлинг М. Движущиеся материка/перевод с англ. М.: Мир, 1973. 104 с.
- Тетяев М. М. Основы геотектоники. Л.— М.: ОНТИ, 1934. 288 с.
- Усов М. А. Геология рудных месторождений Западно-Сибирского края. Томск. изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1935. 86 с.
- Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936. 209 с.
- Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края.— В кн.: Международный геологический конгресс. XVII сессия. М.— Л.: ОНТИ, 1937, 637—642 с.
- Усов М. А. Геотектоническая теория саморазвития материи Земли.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1940а, вып. 1, с. 3—11.
- Усов М. А. Структурная геология. М.— Л.: Госгеолиздат, 1940б. 135 с.
- Хани В. Е. Геотектоника.— В кн.: История геологии. М.: Наука, 1973, с. 179—200.
- Хани В. Е. Современное состояние геологии.— В кн.: История геологии. М.: Наука, 1973, с. 351—354.
- Bucher W. H. The deformation of the Earth's crust. Princeton, 1933. 517 p.
- Bucher W. H. Versuch einer Analyse der grossen Bewegungen der Erdkruste.— Geol. Rundsch., 1939, Bd 30, H. 3/4, S. 285—296.

Б. Д. ВАСИЛЬЕВ

ТЕКТОГЕНЕЗ СИБИРЕТИПНЫЙ

В справочной литературе по тектонической терминологии [Справочник..., 1970] термин «тектогенез сибиретипный» трактуется по М. А. Усову со ссылкой на опубликованное в 1940 г. учебное пособие «Структурная геология». Однако в сибирской геологической литературе этот термин появился значительно раньше. Впервые он был употреблен в 1933 г. (со ссылкой на М. А. Усова) проф. М. К. Коровиным в следующей редакции:

«В структурном отношении и котловины и горные массивы, по последним данным, занимают промежуточное место между горным сооружением и платформой... Эту структуру по природе тектогенеза и вулканизма, в отличие от альпинотипной и германотипной, проф. М. А. Усов предлагает назвать сибиретипной, распространяя ее, впрочем, на всю Кузнецко-Алтайскую область» [1933, с. 326—327].

Представления об альпинотипной (геосинклинальной) и германотипной (платформенной) формах проявления тектогенеза отчетливо сформулировал Г. Штилле в 1924 г. Альпинотипный тектогенез характеризовался интенсивной складчатостью, шарьяжами и гранитоидным магматизмом. Германотипный тектогенез, поражая платформенный чехол, отличался простой открытой складчатостью с явлениями диапиризма, сравнительно слабой дизъюнктивной тектоникой и отсутствием кислых интрузий.

В дополнение к выделенным Г. Штилле двум полярным типам тектогенеза М. А. Усов по материалам Южной Сибири сформулировал представления о промежуточном, сибиретипном, тектогенезе и дал развернутую его характеристику [1935; 1940, с. 104—107]. Особенность сибиретипного тектогенеза в том, что он проявлялся в зонах, закрепленных ранее геосинклинальной складчатостью (с соответствующими интрузиями), и захватывал как более молодую осадочную толщу (покровная складчатость эпиконтинентальных отложений, по Э. Аргану), так и ранее консолидированное основание (глыбовая складчатость основания, по Э. Аргану). М. А. Усов подчеркивал характерную особенность сибиретипного тектогенеза — многократность его проявления, сопровождавшегося интрузиями, без предварительного омоложения литосферы мощными осадочными толщами.

«При этом тектогенезисе, — писал М. А. Усов, — происходит усложнение складчатых структур более древних формаций, уже испытавших складчатость в предыдущие фазы тектогенезиса... затем нередко проявляются тангенциальные дизъюнктивы, переходящие даже в шарьяжные образования... и, наконец, этот тектогенезис, даже при не особенно ярком проявлении глыбовой складчатости, сопровождается интрузиями, тела которых занимают иногда значительные площади». И далее: «...сибиретипный тектогенезис отличается от альпинотипного по менее яркому проявлению покровных структур, а также по отсутствию значительных новых геосинклинальных отложений и от германотипного как интенсивностью дислокаций, так и особенно порой мощным развитием интрузивных процессов» [1940, с. 104, 105].

В качестве сибиретипных он рассматривал структуры Кузнецкого Алатау и Кузбасса. Идея сибиретипной тектоники развивалась им и в работе «Вертикальные зоны складчатости» [1945]. При этом основное внимание он

уделял структурам фундамента складчатой толщи, выделив два их типа по характеру структур, возникающих при повторном (собственно сибиретипном) тектогенезе. В качестве типичных таких структур, по материалам М. М. Тетяева, были приведены структуры Забайкалья.

Заложенные Г. Штилле представления об альпийно-типном и германотипном тектогенезе получили в дальнейшем широкое признание и всестороннее развитие в работах советских тектонистов. В конечном итоге они оформились как представления о полной (голоморфной) и прерывистой (идиоморфной) складчатости с множеством характерных для них признаков.

Идея сибиретипного складчато-глыбового тектогенеза с проявлением гранитоидного магматизма на юге Сибири нашла отражение в работах учеников и последователей М. А. Усова. Несомненным успехом этих работ было установление блоковой структуры складчатой области юга Сибири. М. К. Коровин подчеркивал большую роль в структуре области «мощных разломов», открытый, нередко типично покровный характер складчатости даже древнепалеозойских отложений, широкое развитие основных эффузивов и гипабиссальный характер интрузий. В. К. Мониц отметил глыбовую природу складчатости кембрия. О покровном характере складчатости кембрия с образованием брахискладок в северной части Кузнецкого Алатау писал А. Я. Булытников. Он высказал соображения о различной золотоносности блоков и контролирующей роли в распределении оруденения некоторых крупных разрывных структур, сделал вывод о генетической связи золотого оруденения северной части Кузнецкого Алатау с **послеба-толитовыми** гипабиссальными интрузиями повышенной основности и щелочности.

В. А. Кузнецов показал важнейшую роль в структуре Кузнецкого Алатау крупных разрывов, подчеркнув длительность их развития, выделил ряд крупных тектонических блоков и, рассматривая блоковое строение, высказал идею об отставших в поднятии ступенях Кузнецкого Алатау. Он считал, что уже с позднего докембрия Кузнецкий Алатау ведет себя как жесткая глыба, реагирующая на тектонические усилия главным образом разломами [1940]. В начале 50-х годов им была предложена схема геотектонического районирования и развития Саяно-Алтайской области на основе обобщения материалов геологов сибирской школы [1954]. Его представления о складчато-глыбовом строении области нашли отражение в более поздних тектонических схемах этого региона.

Следует отметить, что, развивая идею о складчатоглыбовой тектонике, переходной по типу структур и времени образования между геосинклинальной и платформенной, М. А. Усов и его ученики, к сожалению, редко пользовались термином «сибиретипная тектоника». Не случайно поэтому в 1959 г. в краткой заметке К. В. Радугин останавливается «на полузабытом понятии о сибиретипной структуре» [1959, с. 59]. Наряду с признаками таких структур, по М. А. Усову, он отмечает характерные резкие колебания в простирации складок, удлинённых плутонов и их цепочек, обращает внимание на два направления цепочек разновозрастных плутонов в Казахстанской глыбе.

В 50-е годы на юге Сибири в районе классической сибиретипной структуры значительные работы по тектонике этой области выполнили сотрудники Геологического института АН СССР и Всесоюзного аэрогеологического треста (ВАГТ). На примере Минусинского межгорного прогиба были разработаны представления о **переходном** структурном комплексе и **переходном** геотектоническом режиме [Белостоцкий и др., 1959]. Высказывания М. А. Усова о сибиретипной тектонике, по всей вероятности, им не были известны.

В это же время коллективом авторов ВСЕГЕИ при участии Д. И. Мусатова и А. П. Таркова была предложена тектоническая карта Саяно-Алтайской складчатой области, полностью вошедшая в Тектоническую карту СССР. Здесь были впервые показаны четыре структурных комплекса — догеосинклинальный, геосинклинальный, **переходный** и платформенный [Мелещенко и др., 1960].

Упоминание о сибиретипных структурах и краткая их характеристика имеются в работе В. И. Попова [1963]. Эти структуры он относит к постумным (доплатформенным), признавая их самостоятельность. На примере типичных мезозойских сибиретипных структур Забайкалья в 60-х годах А. Д. Щеглов разработал понятие об автономной тектономагматической активизации, которая, однако, для герцинид Забайкалья является не эпиплатформенной, а предплатформенной, постумной.

Представления о сибиретипной тектонике (как научное наследие М. А. Усова) продолжали развивать на кафедре общей геологии Томского политехнического института, которой до 1938 г. руководил Михаил Антонович. Проблеме сибиретипной тектоники посвящена специальная работа К. В. Радугина [1965], в которой он описал пять раз-

новидностей сибиретипной структуры (тельбесскую, кузбасскую, казахстанскую, западно-алтайскую, забайкальскую) и особо подчеркнул их высокую рудоносность. Б. Д. Васильев охарактеризовал структурные комплексы сибиретипной структуры Кузнецкого Алатау, показал длительность и многоэтапность формирования складчатой структуры геосинклинального структурного комплекса, контроль размещения батолитовых гранитоидов сетью диагональных глубинных разломов, создающих поперечную, «клавишную» структуру. Он описал нижнедевонский прогиб на месте Кузнецкого Алатау и первый этап формирования грабенных, этих характернейших элементов сибиретипной структуры. Однако главное внимание автор сосредоточил на разработке проблемы связи оруденения с сибиретипным тектогенезом [1973]. В этом направлении важным результатом исследований являются обоснование молодого, явно послебатолитового, возраста золотого оруденения Кузнецкого Алатау, парагенетической связи золотого оруденения с «малыми интрузиями» повышенной основности и щелочности, выявление закономерностей размещения месторождений на основе контроля оруденения зонами проницаемости и складчатой структурой переходного структурного комплекса.

В современной геологической литературе этап развития сибиретипных структур получил названия постгеосинклинального, заключительного, орогенного, позднеорогенного, полуплатформенного, субплатформенного, субгеосинклинального, переходного, постумного и т. д. Идея самостоятельности этапа формирования сибиретипной структуры как структуры переходной (во времени и по типу строения) от геосинклинальной к платформенной находит все большее признание. В этом плане наиболее рациональна точка зрения геологов ВАГТа (А. А. Моссаковский и др.), которые предполагают, что этап формирования межгорных прогибов является самостоятельной переходной стадией развития структуры земной коры со специфическими формациями и структурами. В группу переходных, по Л. Б. Рухину, формаций входят красноцветные континентальные молассы, угленосные, гипсоносные формации и, что особенно важно, андезит-базальтовая межгорных прогибов. Именно на этой стадии развития формируется сибиретипная тектоническая структура. Переходный геотектонический режим создает переходный структурный комплекс, залегающий дискордантно на геосинклинальном и перекрытый позже платформенным чехлом.

Таким образом, переходная стадия развития, отделенная значительным промежутком времени от стадии геосинклинальной и отвечающая этапу развития межгорных прогибов, обладает специфическим набором осадочных и магматических формаций, значительной рудоносностью и специфическими структурными формами, отвечающими представлениям М. А. Усова о сибиретипной тектонической структуре.

ЛИТЕРАТУРА

- Белостоцкий И. И., Зоненшайн Л. П., Красильников Б. Н. и др. Тектоническое районирование и закономерности формирования Алтае-Саянской складчатой области.— Бюл. МОИП. Отд. геол., 1959, т. 34, № 6.
- Васильев Б. Д. Сибиретипная тектоника и золотое оруденение Марийской тайги.— В кн.: Геология. Материалы конференции посвященной 75-летию ГПИ. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1973, с. 91—92.
- Коровин М. К. Геология Западной Сибири по новейшим данным.— В кн.: Сборник по геологии Сибири. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-разведочн. треста, 1973, с. 326—327.
- Кузнецов В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Тайдоно-Терсинского района западного склона Кузнецкого Алатау. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. управления, 1940. 102 с.
- Кузнецов В. А. Геотектоническое районирование Алтае-Саянской складчатой области.— В кн.: Вопросы геологии Азии. М.: Изд-во АН СССР, 1954, т. 1, с. 202—227.
- Мелещенко В. С., Яков Э. Н., Казанов И. Н. Основные черты тектоники Саяно-Алтайской складчатой области.— В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. Л., 1960, с. 5—21.
- Попов В. М. Развитие представлений о глыбовой складчатости.— В кн.: Идеи академика В. А. Обручева о геологическом строении Северной и Центральной Азии. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 111—126.
- Радугин К. В. О сибиретипной структуре.— Науч. докл. высшей школы. Геол.-геогр. науки, 1959, № 1, с. 59.
- Радугин К. В. Проблема сибиретипной тектоники.— Вестн. научной информации Забайкальского отделения Географического общества СССР, 1965, № 1, с. 3—5.
- Справочник по тектонической терминологии. М.: Недра, 1970, с. 412.
- Усов М. А. Геология рудных месторождений Западно-Сибирского края. Томск: Изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1935. 86 с.
- Усов М. А. Структурная геология. М.— Л.: Госгеолиздат, 1940. 136 с.
- Усов М. А. Вертикальные зоны складчатости.— В кн.: Вопросы геологии Сибири. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1945, с. 340—344.

**ИДЕИ М. А. УСОВА О ВЫВЕТРИВАНИИ
И ИХ РАЗВИТИЕ В УЧЕНИИ
ОБ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ**

В богатом и разностороннем научном геологическом наследии академика М. А. Усова имеются весьма интересные высказывания о характере процессов выветривания [Усов, 1934]. Им рассмотрены природные факторы разрушения горных пород, среди которых отмечены температура, вода, кислород воздуха, организмы и органическое вещество и т. д. Он обратил внимание на три основных момента при выветривании: 1) зональность в связи с климатическими условиями, 2) формы удаления разрушаемого материала и 3) селективность процесса.

Связывая характер выветривания с климатом, М. А. Усов использовал классификацию В. Пенка, причем он различал следующие типы процесса — нивальный, плювиальный и аридный. Для первого типа свойственно морозное выветривание, образование слабоизмененного грубообломочного материала. Под влиянием талых вод в теплые периоды этот материал перемещается по склонам.

Плювиальный тип выделен в климатических зонах с обильной влагой и богатой растительностью. Для него характерно интенсивное химическое выветривание с выносом из элювия растворимых продуктов и формированием остаточного материала. Его доля, как считал М. А. Усов, составляет около 40% осадочного вещества, поступающего с суши. Аридный тип развит в областях сухого или пустынного климата. Среди продуктов выветривания сохраняются растворимые соли (карбонаты и др.), сопровождающиеся мелкоземом. Для этой области предполагаются легкий смыв выветрелого материала и образование пенепплена.

Для современных областей М. А. Усов предложил схему связи климата, выветривания и процессов формирования рельефа (табл. 1).

Одновременно он подчеркнул, что эту схему следует с большой осторожностью распространять на древние геологические периоды, так как возможности актуалистического метода ограничены. В частности, для палеозойской эры ученый допускал более энергичный процесс пенеппенизации рельефа.

Характер экзогенных процессов в различных климатических зонах

Климат	Выветривание	Денудационный цикл	Денудационные поверхности
Пивальный	Морозное	Каровый	Эквиплен
Плювиальный	Элювиальное	Эрозионно-суффозионный	Унаследованные, слабомытые
Аридный	Карбонатное	Эрозионно-дефляционный	Песчплен

Из изложенного следует, что еще в 30-е годы М. А. Усов сформулировал основные положения о развитии осадочного процесса, выявив связи между климатом, выветриванием и продуктами седиментации. Идея о тесной взаимосвязи выветривания и осадконакопления совершенствовалась в работах учеников М. А. Усова — Г. Л. Поспелова, В. П. Казаринова и др. В частности, Г. Л. Поспелов [1945] показал возможность перемещения по склонам продуктов выветривания осадочных толщ, проследив по сажистому материалу, возникшему при разрушении угольных пластов, процесс разубоживания элювиального материала.

В. П. Казаринов развивал взгляды М. А. Усова в двух направлениях. Во-первых, он показал, что в условиях щелочного (аридного) и кислого (плювиального, или гумидного) выветривания вынос растворимых элементов происходит в разной последовательности [Казаринов, 1958]. Во-вторых, он проделал большую работу по обобщению материалов по Сибири, которые показали характер распределения типов осадков и содержащихся в них обломочных минералов в зависимости от интенсивности выветривания в областях размыва [Выветривание и литогенез, 1969; и др.].

Своеобразным направлением в изучении типов выветривания является геохимическое исследование глинистого вещества в осадочных породах, доказывающее возможность реконструкции климатических условий выветривания при разрушении пород провинций питания [Глинистые минералы..., 1976]. В тонких фракциях (менее 0,002 мм), в которых преобладает гидрослюдистое (иллитовое) вещество, определяются отношения между окислами алюминия и титана. Если эта величина не превышает 20, то условия выветривания были кислые (гумидные), если более 30, то щелочные (аридные).

Заслуживает внимания сравнение взглядов М. А. Усова, изложенных выше, с построениями Н. М. Страхова, который в начале 60-х годов предложил типизацию литогенеза [1960]. Как известно, этот исследователь выделил четыре типа литогенеза — ледовый, гумидный, аридный и осадочно-вулканогенный. Первые три типа практически совпадают с подразделениями, предложенными ранее М. А. Усовым.

Следует более подробно остановиться на двух высказываниях М. А. Усова, касающихся актуализма и роли климата в континентальной седиментации. Его определенный скепсис на возможность применения без каких-либо поправок актуалистического принципа при изучении осадконакопления на многие годы опередил современные взгляды по этому вопросу. Анализ многочисленных публикаций на тему о возможностях использования актуализма при изучении осадочных пород показывает ограниченность данного метода. Это связано с тем, что метод актуализма предусматривает только поиски сходства современных осадков, несущих признаки определенных геологических процессов, с древними отложениями. При таком сопоставлении из поля зрения исследователя выпадают черты различия, которые весьма важны для понимания развития процессов прошлого. Именно на это указал еще в начале 30-х годов М. А. Усов.

Дальнейшее развитие методика ретроспективных построений получила в сравнительно-литологическом методе, предложенном Н. М. Страховым [1973], который предусматривает не только поиски черт сходства, но и различий в составе и строении современных и древних осадков. Выявление различий, таким образом, является материалом для поисков путей развития седиментационных процессов. Некоторая ограниченность сравнительно-литологического метода состоит в том, что в природе компоненты древних осадков могут иметь один и тот же состав, но являться продуктами различных реакций. Так, карбонатные минералы химическим путем получаются как в результате реакций сульфатных и карбонатных растворов, так и при взаимодействии хлоридных и карбонатных соединений. Этот и другие примеры показывают, что только сравнительный анализ состава не дает достаточно однозначного ответа при решении генетических задач.

В таких случаях большое значение приобретает дифференцирование отдельных компонентов осадочной породы во времени с выделением седиментационных и постсе-

диментационных составляющих. Для последних важны реконструкции их первичного состава и структуры. Седиментационная составляющая легко разделяется на автохтонные и аллохтонные компоненты [Казанский, 1975]. Определенную ясность в наблюдения над природными объектами могут внести экспериментальные и расчетные данные, являющиеся своего рода реперами, ограничивающими амплитуду генетических построений. В настоящее время накоплен конкретный цифровой материал, характеризующий физико-химические параметры атмосферы и гидросферы, позволяющий ставить эксперименты в четких рамках определенной задачи, достаточно близкой природным условиям древних эпох. Здесь можно сослаться на опыты по моделированию выветривания, получению карбонатных и солевых минералов и т. д.

Конкретные материалы, характеризующие количественные стороны природных седиментационных процессов, позволяют широко использовать термодинамические расчеты, подтверждающие, а в ряде случаев доказывающие, определенную направленность процесса и конкретизирующие возможности условий формирования тех или иных компонентов осадков. Расчеты подобного типа выполнены для продуктов выветривания [Карпов, 1981; и др.], карбонатов [Павлов, 1974] и других образований.

Все изложенное дает основание считать, что сравнительный анализ условий современной и древней седиментации представляет собой достаточно сложный процесс, включающий: 1) дифференциацию компонентов осадков и осадочных пород на седиментационные и постседиментационные составляющие; 2) реконструкцию седиментационных продуктов в постседиментационной части осадочной породы; 3) выделение автохтонных и аллохтонных компонентов в седиментационной составляющей; 4) сравнение состава и строения автохтонных и аллохтонных компонентов древних и современных осадков; 5) использование результатов экспериментальных исследований и проведение термодинамических расчетов для отдельных компонентов и 6) обобщение всей суммы полученных данных для выяснения условий седиментации. Предлагаемый комплекс исследований назван сравнительно-седиментологическим методом.

Большая роль климата в процессе континентального осадконакопления, на которую обратил внимание М. А. Усов, подтвердилась последующими исследованиями. Не рассматривая подробно историю развития наших

Таблица 2

Схема классификации современных континентальных ландшафтно-климатических зон по температурному режиму и балансу влажности

Температурный режим	Баланс влажности			
	влажный	переменно-влажный	засушливый	сухой
Тропический	Влажно-тропическая зона (тропических лесов)	Переменно-влажно-тропическая (тропического редколесья) и саванная зоны	?	Пустынно-тропическая зона
Субтропический	Влажно-субтропическая зона (субтропических лесов)	Переменно-влажно-субтропическая зона (субтропического редколесья)	?	?
Умеренный	Влажно-умеренная зона (лесов умеренного климата)	?	Степная зона	Пустынно-умеренная зона
Полярный	Тундровая зона			Пустынно-полярная зона

Примечание. ? — зоны не выделяются в связи с отсутствием сведений о составе автохтонных компонентов.

знаний в этом вопросе, остановлюсь на последних результатах исследования данной проблемы. Об автохтонных компонентах уже упоминалось. Они являются показателями ландшафтно-климатических зон. По генезису к ним в континентальной области отнесены новообразования в почвах и корах выветривания, химические и биохимические продукты в осадках различных фациальных типов, распространенные на суше. Образование автохтонных компонентов отражает конкретные климатические условия, главными факторами которых являются температура и влажность. Их сочетание позволяет выделять в пределах современной суши ландшафтно-климатические зоны (табл. 2).

Современные ландшафтно-климатические зоны рассматриваются конечными продуктами развития древнейших гомологов, зародившихся в раннем докембрии [Казанский, 1979]. Выделяются два крупных этапа в их развитии: додевонский и девонский—голоценовый. Их различие состоит в том, что додевонские ландшафты отличаются отсутствием наземной растительности, что имело принципиальное значение для процессов осадконакопления. Пустынный характер ландшафтов наряду с повышенными температурой и давлением в приповерхностных условиях суши определял климатическую зональность и периодичность изменения температуры и влажности в течение года.

Появление наземной растительности в девоне привело к смягчению континентальности климата, к задержке влаги в почве лесов и, следовательно, к выравниванию ее поступления в водотоки. Естественно, постепенный характер заселения суши растительностью являлся причиной сохранения реликтовых ландшафтов, особенно на водораздельных пространствах.

Изложенная схема изменения ландшафтно-климатической зональности обуславливала своеобразие автохтонного минералообразования на различных возрастных уровнях. В связи с этим очередная задача седиментологии — выяснение значения автохтонных компонентов на фоне общего развития факторов осадконакопления.

ЛИТЕРАТУРА

- Выветривание и литогенез/Казарянов В. П., Бгатов В. И., Гурова Т. И. и др. М.: Недра, 1969. 456 с.
- Глинистые минералы как показатели условий литогенеза/Акульшина Е. П., Давыдов Ю. В., Писарева Г. М. и др. Новосибирск: Наука, 1976. 191 с.

- Казанский Ю. П.** Автохтонные компоненты континентальных осадков как критерии для расшифровки происхождения осадочных толщ.— В кн.: Литолого-геохимические исследования палеозойских и докембрийских отложений Сибири. Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР, 1975, с. 5—17.
- Казанский Ю. П.** О развитии континентальных ландшафтно-климатических зон в истории Земли.— Геол. и геофиз., 1979, № 10, с. 17—27.
- Казаринов В. П.** Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1958. 324 с.
- Карпов И. К.** Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 247 с.
- Павлов А. Л.** Некоторые физико-химические особенности образования карбонатных осадков в морских бассейнах.— В кн.: Карбонатные породы Сибири. Новосибирск: изд. ИГиГ СО АН СССР и СНИИГГиМС, 1974, с. 90—94.
- Поспелов Г. Л.** Структурная классификация элювия.— Докл. АН СССР, 1945, т. 48, № 2, с. 127—129.
- Страхов Н. М.** Основы теории литогенеза. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.
- Страхов Н. М.** Метод сравнительно-литологический.— В кн.: Геологический словарь. Т. 1. М.: Недра, 1973. 454 с.
- Усов М. А.** Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-развед. треста, 1934. 87 с.

А. З. ЮЗВИЦКИЙ, Ю. Н. ПОПОВ

ТРУДЫ М. А. УСОВА В ОБЛАСТИ ГЕОЛОГИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Проблемам изучения и освоения угольных месторождений Западной Сибири М. А. Усов уделял большое внимание в течение почти всей научной деятельности. Обращение его к этим вопросам было вполне закономерным и, можно сказать, даже неизбежным.

В начале XX столетия и особенно в советское время уголь выдвинулся в число важнейших полезных ископаемых страны. Западной Сибири с ее огромными ресурсами твердого топлива отводилась ключевая роль в планах индустриализации. Однако, несмотря на предполагавшиеся уже в то время большие потенциальные ресурсы, разведанные запасы угля были крайне ограничены. На доставшихся в наследство от дореволюционной России мелких предприятиях в Западной Сибири можно было добывать в год в лучшем случае около 1,5 млн. т угля. Необходимо было увеличить объемы и резко расширить фронт геолого-разведочных работ, в короткие сроки выявить,

разведать и вовлечь в эксплуатацию десятки новых месторождений. И естественно, что М. А. Усов, как один из руководителей геологической службы Западной Сибири и как исследователь, занимавшийся вопросами региональной геологии, не мог исключить эту важнейшую отрасль из сферы своих научных интересов.

Одной из причин, побудивших М. А. Усова расширить и углубить свои знания по ископаемым углям, была преподавательская работа, особенно после введения в Томском технологическом институте специального курса по геологии каустобиолитов. Опубликованная в 1920 г. книга «Геология каустобиолитов (уголь, нефть, графит и алмаз)» явилась первым в нашей стране учебником по геологии горючих ископаемых. В нем, наряду с изложением основ геологии каустобиолитов с использованием специальной мировой литературы, содержатся и оригинальные идеи, во многом предвосхитившие дальнейшие тенденции развития угольной геологии. Так, рассматривая геологические условия формирования углей, он справедливо отводит ведущую роль тектоническому фактору, указывая, что мощность торфяников и образующихся из них угольных пластов определяется главным образом тектоническим опусканием территории. «При стационарном состоянии относительной высоты почвы болота,— писал М. А. Усов,— мощность торфяника является предельной и, по-видимому, не особенно большой... И если угленосные отложения нередко содержат очень мощные, например в 30 м, и очень чистые пласты угля, ...то приходится заключить, что дно болота относительно опускалось по мере того, как отлагалась растительный материал. Это изменение поверхности геоида... может проявляться различным образом на протяжении одного болота, и тогда мощность торфяника будет неодинаковой в разных его частях» [Усов, 1920, с. 18].

Ныне любой геолог воспринимает эту цепочку зависящих друг от друга явлений как аксиому. А между тем эти взаимосвязи стали очевидными не так уж давно. Только в 1926 г., т. е. спустя несколько лет после выхода в свет рассматриваемой книги, Г. Штилле на конкретном материале Центральной Европы показал зависимость геологических особенностей угленосных толщ от тектонического режима и истории формирования соответствующих регионов, противопоставив многопластовые дислоцированные толщи в складчатых областях маломощным с небольшим количеством компактных угольных залежей на платформах.

С того времени историко-тектонический подход становится ведущим при разработке классификаций угленосных формаций и прогнозировании угленосности.

Появление новых направлений промышленного использования углей, более широкое вовлечение их в коксование и глубокую химическую переработку потребовали внедрения новых точных методов изучения их состава и свойств. В 1927 г. М. А. Усов вместе с профессором М. К. Коровиным выступил инициатором создания в Томском технологическом институте одной из первых в нашей стране углепетрографической лаборатории. Из этой научной ячейки вышли крупные геологи-угольщики и углепетрографы — И. И. Аммосов, А. Б. Травин, А. А. Ларищев, А. В. Аксарин и другие, выполнившие ряд работ по изучению углей Кузнецкого, Канско-Ачинского и других бассейнов, которые легли в основу последующих петрографо-углехимических исследований.

Разнообразные формы творческого содружества — научное руководство, экспертизы, курирование разведочных и исследовательских работ, редактирование производственных отчетов и публикаций — связывали М. А. Усова с большим коллективом западно-сибирских геологов-угольщиков. В составляемых им периодических сводках отражались основные результаты поисково-разведочных и исследовательских работ практически по всем изучавшимся в то время угленосным районам Западной Сибири. Однако главное внимание уделялось, естественно, Кузбассу. Здесь М. А. Усов систематически (с 1917 по 1928 г. с некоторыми перерывами) проводил полевые исследования на естественных разрезах и в горных выработках, успешно сочетая их с научными консультациями по широкому кругу вопросов, возникавших в процессе разведки и эксплуатации угольных месторождений. На протяжении ряда лет М. А. Усов был главным консультантом по геологии Шахтстроя, при его участии проектировались и строились почти все крупные угледобывающие предприятия первых пятилеток.

На основе личных наблюдений с использованием материалов разведочных организаций и горно-добывающих предприятий М. А. Усов за сравнительно короткий срок выполнил ряд важных методических разработок и региональных обобщений и опубликовал более 30 работ, охватывающих практически все основные вопросы, связанные с изучением и освоением Кузнецкого бассейна. Основными направлениями его исследований были стратиграфия,

тектоника, история формирования и общая геолого-промышленная оценка потенциальных ресурсов углей. Однако наряду с этим он занимался также вопросами геологии развитых в Кузбассе изверженных пород трапповой формации, затрагивал проблемы изучения состава, свойств и направлений промышленного использования углей, изучал природу широко проявившихся в этом бассейне подземных пожаров в угольных пластах и уделял большое внимание вопросам конкретной геолого-промышленной оценки отдельных угленосных площадей и месторождений.

Следует заметить, что в опубликованной литературе роль М. А. Усова в изучении геологии Кузбасса до сих пор не получила объективной оценки и должного отражения. Так, в наиболее полном обзоре по истории изучения этого бассейна, составленном В. И. Яворским [1962], упоминается лишь сравнительно небольшая часть его работ, причем в освещении результатов особо подчеркиваются допущенные им ошибки. Объективности ради надо отметить, что ошибки в трактовке отдельных элементов геологического строения и прогнозировании угольных ресурсов Кузнецкого бассейна действительно имели место. Так, по современным представлениям, подошва угленосного комплекса в центральной части бассейна залегает на глубинах порядка 4—5, а не 1 км, как полагал М. А. Усов; общие ресурсы углей Кузбасса оцениваются сегодня примерно в 550 млрд. т, в то время как М. А. Усов оценивал их в 1929 г. в 1,12 трлн. т; кузнецкие траппы имеют, по видимому, триасовый, а не послеюрский возраст, и вообще роль тектономагматических процессов позднего мезозоя и кайнозоя в формировании бассейна была несколько преувеличена и т. п.

Причины этих заблуждений, представляющихся теперь очевидными, коренятся, прежде всего, в очень слабой геологической изученности Кузбасса. В 20-е годы, когда М. А. Усов приступил к изучению угольных месторождений Западной Сибири, господствовало мнение о пермском возрасте всего 9-километрового разреза угленосных толщ Кузнецкой котловины. Эти представления подкреплялись авторитетом палеоботаников, строивших свои заключения на обработке коллекций, собранных без точной геологической привязки. Таким образом, стратиграфическая схема Кузнецкого бассейна, лишенная палеонтологического обоснования, содержала крупные ошибки. Лишь в 30-е годы в результате исследований геологов и палеонтологов (В. Д. Фомичева, В. И. Яворского, Б. И. Черны-

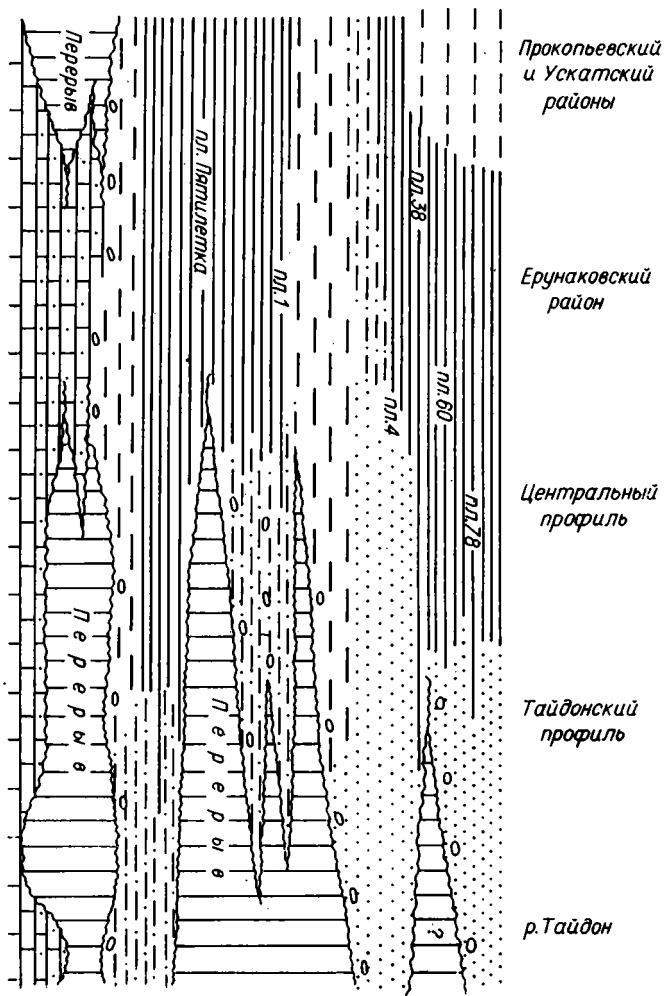
шева, М. Ф. Нейбург, Л. М. Шорохова и В. А. Хахлова), были отделены триасовые и юрские толщи с молодыми элементами флоры и фауны, обоснован карбоновый возраст нижней части угленосных отложений и установлена действительная последовательность напластований угленосных и непродуктивных свит в основных разрезах Кузнецкого бассейна. Логическим следствием указанных стратиграфических ошибок были неверные суждения о региональной структуре и потенциальных ресурсах углей бассейна.

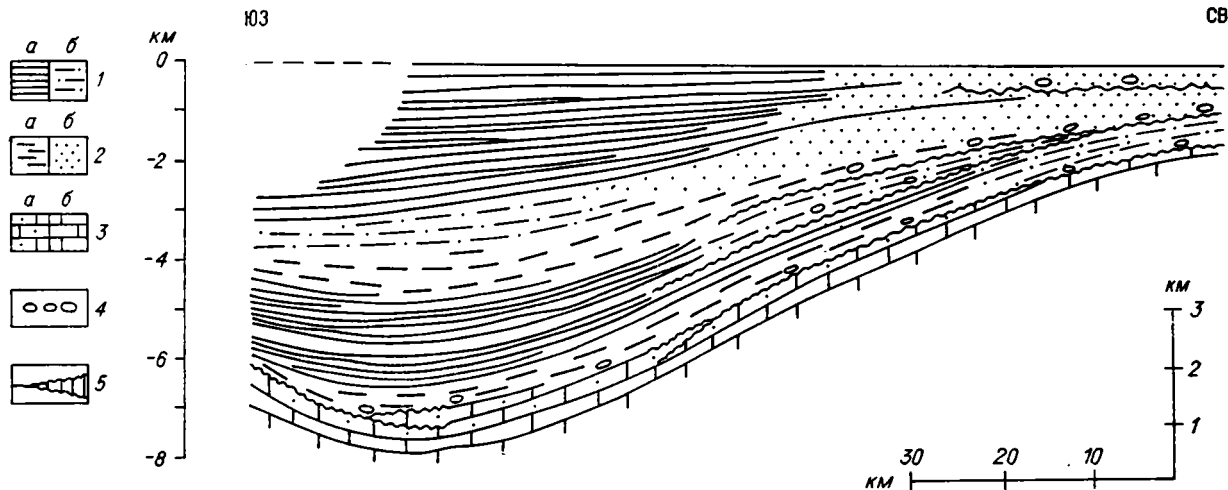
Взгляды М. А. Усова на геологию Кузбасса следует рассматривать в контексте общих воззрений этого ученого на геотектонический процесс и историю геологического развития Западной Сибири. В основу своих представлений о геологии Западной Сибири он положил понятие о формации. Содержание этого понятия, как известно, трактовалось им не вполне однозначно, а имеющиеся большей частью лаконичные формулировки допускали разночтения. Для уяснения его подхода к выделению этих стратиграфо-тектонических единиц в континентальных угленосных толщах большой интерес представляют его высказывания на Ленинградской конференции, созданной в 1934 г. для разработки схемы стратиграфии Кузбасса [Усов, 1934].

М. А. Усов подверг критике предложенную ленинградскими геологами (В. И. Яворским и др.) и в конце концов принятую конференцией стратиграфическую схему за ее преимущественно литологический характер и неприемлемый, по его мнению, принцип проведения стратиграфических границ по верхнему или нижнему рабочему пласту. Обращая внимание на уже тогда известные немногочисленные факты фациальной изменчивости угленосных отложений, он предостерегал: ориентировка на одни лишь литологические признаки в таких условиях чревата стратиграфическими ошибками. В свете новых материалов по латеральной литологической изменчивости верхнепалеозойских отложений Кузнецкого бассейна (см. рисунок) эти предостережения были совершенно справедливыми.

Отвергая чисто литологическую интерпретацию свит, М. А. Усов настаивал на комплексном их обосновании с использованием и палеонтологических данных. Такой подход был совершенно правильным, и в дальнейшем стратиграфическая схема Кузнецкого бассейна развивалась именно в этом направлении. С учетом сказанного, а также судя по всем высказываниям М. А. Усова, касающимся стратиграфии Кузбасса, можно полагать, что использова-

Каменноугольная			Пермская						Система																										
Нижний		Средн.	Верх.		Нижний		Верхний		Отдел																										
Мозжусинская		Балахонская				Кольчугинская				Серия																									
		Острого-ская		Нижне-балах.		Верхне-балахон-ская		Кузнец-ская		Ильин-ская		Еруна-ков-ская		Подсерия																					
f		rd		vt		ev		ks		mz		ae		p		i		km		us		mt		k-m		usk		ln		gr		tt		Горизонт (свита)	





Схематический поперечный профиль верхнепалеозойских отложений Кузбасса

1 — угленосные отложения (а — продуктивные, б — малопродуктивные); 2 — безугольные отложения (а — песчано-глинистые, б — песчаные); 3 — морские нижнекаменноугольные отложения (а — карбонатно-терригенные, б — преимущественно карбонатные); 4 — грубообломочные отложения; 5 — перерывы.

Горизонты (свиты): f — фоминский, pd — подъяковский, vt — верхотомский, ev — евсеевский, ks — каезовский, mz — мазуровский, al — алыкаевский, p — промежуточный, i — ишановский, km — кемеровский, us — усятский, sk — старокузнецкий, mt — митинский, k-m — казанково-маркинский, usk — ускатский, ln — ленинский, gr — грамогеинский, tl — тайлуганский.

ние им седиментационных перерывов в качестве ведущего критерия стратиграфического расчленения было в немалой степени обусловлено состоянием фактической базы, и в первую очередь скудностью палеонтологического материала того времени.

Конкретным выражением взглядов М. А. Усова в области стратиграфии Кузнецкого бассейна является стратиграфо-тектоническая схема, в которой верхнепалеозойские отложения, подобно другим стратифицированным образованиям Западной Сибири, были подразделены на ряд формаций, разделенных перерывами — следами всеобщих фаз тектогенеза. Приняв за основу стратиграфическую схему 1934 г., он наряду с признанными уже в то время перерывами в основании и кровле верхнепалеозойского комплекса угленосных отложений, показал в схеме также скрытые несогласия на уровне астурийской и саальской фаз. Проявлению астурийской фазы М. А. Усов приписывал крупный седиментационный перерыв (налегание мазуровской свиты на известняки турне), установленный им при полевых исследованиях на северо-западной окраине бассейна, в Завьяловском районе; перерывы на уровне саальской фазы не были подтверждены фактами. Кроме того, в принципе полагая, что в действительности тектонических фаз в истории Земли было гораздо больше, чем предусмотрено каноном Штилле, он с уверенностью заявил, что «угленосная толща Кузбасса состоит из многих формаций, которые только представляются согласными» [Усов, 1936, с. 150].

Включив в свою схему несогласия, не подтвержденные прямыми наблюдениями, М. А. Усов невольно вооружил оппонентов аргументами, которые были использованы для дискредитации его стратиграфо-тектонической шкалы. Пример с верхнепалеозойскими отложениями Кузбасса наиболее часто использовался (В. И. Яворским, В. П. Нехорошевым и др.) для иллюстрации «несостоятельности» умозрительных построений М. А. Усова. Однако эти возражения были вполне справедливыми лишь до тех пор, пока изучались мощные и, по-видимому, действительно не имеющие существенных пробелов разрезы приосевой части Кузнецкого прогиба. В последние годы с развитием геологических исследований в прибортовых зонах бассейна, вдоль границ с Салаиром и особенно Кузнецким Алатау, обнаружилось широкое распространение разрезов с сокращенной мощностью, где составляющие их геологические тела нередко с большими временными интер-

валами следуют друг за другом, занимая лишь отдельные уровни региональной стратиграфической шкалы.

Новые материалы подтверждают реальность существования тектоно-(ритмо-, этапо-) стратиграфических подразделений, которые учениками и последователями М. А. Усова (В. А. Хахловым, Л. Л. Халфиным, Б. Ф. Сперанским, М. К. Коровиным и др.) рассматриваются в качестве основных регионально-стратиграфических единиц, а некоторыми исследователями (Г. П. Леонов) — даже в качестве особого вида осадочных формаций. Не вдаваясь в анализ этой сложной проблемы, следует заметить, что попытки практического распознавания таких подразделений в континентальных угленосных отложениях Сибири наталкиваются на пока еще непреодолимые методические трудности, и в обозримом будущем вряд ли могут составить основу региональной стратиграфии этих образований. Одним из препятствий к построению таких стратиграфических моделей является, в частности, вполне доказанная теперь (вопреки представлениям М. А. Усова) территориальная ограниченность проявления отдельных перерывов, которые вызваны, очевидно, не кратковременными и универсальными тектоническими фазами, а локальными неодновременными размывами в зонах неоднократной смены процессов размыва и седиментации, подобно тому, как это имело место в прибортовых зонах Кузнецкого верхнепалеозойского прогиба. Вместе с тем подмеченная М. А. Усовым неравномерность распределения несогласий в стратиграфической шкале, группирование их в некие эпохи тектонической активизации, проявляющиеся в более или менее синхронных интервалах верхнепалеозойского разреза далеко за пределами Кузнецкого бассейна, на обширных пространствах Ангариды, представляются бесспорным фактом, обусловленным, по-видимому, какими-то очень широко, может быть даже универсально, действующими причинами.

М. А. Усову принадлежат первые наиболее глубокие обобщения закономерностей тектонического строения Кузнецкого бассейна. Высказанные им соображения о заложении бассейна на жестком, консолидированном в предыдущие циклы тектогенеза складчатом фундаменте, указание на связь складчато-разрывных дислокаций осадочного комплекса с глыбовыми перемещениями фундамента и надвигами со стороны обрамляющих бассейн складчатых сооружений, верно подмеченная центростремительная вергентность, отражающая господствующие направления сме-

щения масс от краев к центру бассейна,— все эти принципиальные для понимания общей структуры бассейна положения находят отражение в современных геолого-геофизических моделях и полностью сохраняют свое значение.

Важную роль в формировании тектонической структуры Кузнецкого бассейна, по М. А. Усову, играют разломы, особо мощные зоны которых расположены на границах бассейна с Кузнецким Алатау, Колывань-Томской складчатой зоной и Салаиром. Он подчеркивал резко различный характер динамического воздействия на Кузнецкий прогиб этих складчатых сооружений: с одной стороны преимущественно вертикальные («радиальные») движения Кузнецкого Алатау, поднимавшегося в виде горста с ограниченным проявлением горизонтальных срывов, и, с другой — горизонтальные («тангенциальные») движения со стороны Салаира и Колывань-Томской зоны, перераставшие местами в небольшие шарьяжи. Эти идеи легли в основу современных схем тектонического районирования бассейна на зоны с различным типом складчатости, примыкающие к соответствующим региональным структурам обрамления; представления о чешуйчато-надвиговой структуре северо-западной и юго-западной окраинных зон бассейна подтверждаются бурением и геофизическими данными.

Одно из центральных мест в научном творчестве М. А. Усова занимают исследования морфологии и механизма образования складчатых и разрывных дислокаций. Несмотря на возросшую геологическую изученность бассейна, достаточно актуален и сейчас тезис ученого о том, что «наши тектонические построения имеют, по существу, спекулятивный характер, основываясь на разрозненных данных поверхностной геологической съемки и на привходящих теоретических представлениях, которые, в свою очередь, обычно являются умозрительными схемами. В тектонике как раз и не хватает совершенно точных исходных материалов, и эти данные можно получить лишь при подземных работах» [Усов, 1940, с. 264]. Это мнение высказано М. А. Усовым в последние годы жизни, когда новое направление — рудничная тектоника — приобрело права гражданства, и в Кузбассе был организован по его инициативе институт шахтных (рудничных) геологов.

Становлению этого направления способствовали многолетние детальные тектонические исследования, проведенные М. А. Усовым практически во всех освоенных тогда

районах бассейна. К началу 20-х годов определились основные его представления о тангенциальной природе тектоники Кузбасса, присущих ему формам дизъюнктивов и складок, а также сложился его исследовательский подход. Это — тщательное изучение форм дислокаций, преимущественно по материалам горных работ с использованием маркшейдерской основы, объяснение механизма образования структур высоких порядков и отсюда формирование представлений о природе и кинематике главных структурных элементов. При рассмотрении вопросов кинематики дислокаций использовался также новый по тому времени опыт применения к тектонике принципов сопротивления материалов.

Наиболее пристальное внимание М. А. Усов обращал на изучение дизъюнктивной тектоники как наиболее сложной, недостаточно изученной и оказывающей большое, часто губительное воздействие на горно-геологические условия эксплуатации. Уже в 1929 г. он с удовлетворением отмечал, что персонал рудников использует предложенные им «тектонические взаимоотношения» (так называл он свою классификацию дизъюнктивов). В 1933 г. М. А. Усов критически проанализировал имеющиеся отечественные и зарубежные классификации дизъюнктивов как геометрические (маркшейдерские), так и геологические (генетические) и показал их несовершенство. Используя богатейший опыт работ в Кузбассе и отмечая исключительную благоприятность изучения здесь дизъюнктивных дислокаций, он предложил теоретические основы классифицирования их: 1) методы изображения дислокаций с применением ортогонального проектирования в трех плоскостях; 2) принципы механики в теории дизъюнктивных дислокаций; 3) основные типы дизъюнктивов: послойные перемещения, продольные нарушения (согласный и несогласный взброс, обратный и прямой надвиг), поперечные нарушения (взброс, поперечный подброс), различные диагональные промежуточные формы с косым направлением перемещения по сместителю; 4) формы срезания пластов трещинами дизъюнктивных дислокаций; 5) номенклатура перемещения (смещения) — длина, размах, перекрытие, зияние, отделение, пересброс и сдвигание, отход. Эти положения получили развитие в книге «Структурная геология», где наряду с тангенциальными формами рассмотрены и радиальные [Усов, 1940б].

Исследования М. А. Усова побудили его учеников и последователей (И. А. Молчанова, А. А. Белицкого,

А. С. Забродина) совершенствовать классифицирование дизъюнктивов на основе предложенных им принципов. Время показало жизненность разработанных классификаций, которые нашли применение в структурной геологии при изучении как угольных, так и рудных месторождений.

В первые годы Советской власти в Западной Сибири добывали в год около 1 млн. т угля, к 1940 г.— уже 20 млн. т. Геологи-угольщики Западной Сибири, среди которых видное место занимал и М. А. Усов, в короткие сроки создали в регионе мощную сырьевую базу для развития угольной промышленности, которая в 40-е годы стала главной в экономике страны. И сегодня, в 80-е годы, несмотря на появление новых видов топлива и энергии, уголь Западной Сибири остается одним из важнейших факторов динамичного развития. Наряду с увеличением добычи в Кузбассе, который все больше выдвигается на роль главной угольной базы страны, широким фронтом идет освоение других угольных бассейнов. Решая сложные задачи по изучению геологии, условий образования и закономерностей размещения ископаемых углей, совершенствуя методику прогноза, поисков, разведки и геолого-экономической оценки месторождений, геологи-угольщики опираются на идеи, факты и практический опыт исследователей эпохи первых пятилеток, заложивших прочные основы современных знаний о геологии угольных бассейнов Западной Сибири. Можно не сомневаться, что и последующие поколения геологов-угольщиков, особенно исследователей Кузнецкого бассейна, будут обращаться к трудам М. А. Усова, искать и находить в них отражение научных течений и средства решения практических задач своего времени.

ЛИТЕРАТУРА

- Усов М. А.** Геология каустобиолитов (уголь, нефть, графит и алмаз). Томск: Народн. тип. № 3, 1920. 154 с.
- Усов М. А.** Геолого-промышленный очерк Кузнецкого каменноугольного бассейна.— Томск: Изд. Зап.-Сиб. отд. Геол. комитета, 1929. 108 с.
- Усов М. А.** Формы дизъюнктивных дислокаций в рудниках Кузбасса.— В кн.: Сборник по геологии Сибири, посвященный 25-летию юбилею научно-педагогической деятельности проф. М. А. Усова. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-развед. треста, 1933, с. 1—50.
- Усов М. А.** Конференция по стратиграфии Кузбасса.— Вестн. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1934, вып. 3, с. 20—30.

- Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Томск: Изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936. 209 с.
- Усов М. А. Рудничная тектоника Кузнецкого бассейна.— В кн.: Геология СССР. Т. XVI. Кузнецкий бассейн. М.—Л.: Госгеолиздат, 1940а, с. 264—289.
- Усов М. А. Структурная геология. М.—Л.: Госгеолиздат, 1940б. 135 с.
- Яворский В. И. Очерк по истории геологического исследования Кузнецкого бассейна.— Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер., 1962, т. 69. 144 с.

В. А. НИКОЛАЕВ

ИДЕИ М. А. УСОВА В ГЕОМОРФОЛОГИИ И ГЕОЛОГИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Весьма важное направление в научных исследованиях М. А. Усова неразрывно связано с практическим изучением и картированием четвертичных отложений Сибири и с познанием ее геоморфологических особенностей. Материалы по этим вопросам были им рассмотрены в оригинальной работе «Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений». Она была опубликована в 1934 г., переиздана в 1960 г. и сохранила свое научное значение до настоящего времени. Важнейшие итоги в познании стратиграфии и литологии четвертичных отложений М. А. Усов изложил в статье «Основные результаты работ Западно-Сибирского геологического треста по изучению четвертичной геологии Западной Сибири» [1937]. Одновременно с этим он и его ученики регулярно публиковали данные по изучению рельефа Сибири и ее четвертичных отложений в периодических изданиях Западно-Сибирского геологического треста и в монографиях, освещающих геологию и полезные ископаемые восточных регионов нашей страны.

Значительные успехи в изучении геоморфологии и геологии четвертичных отложений были достигнуты в 30-е годы благодаря тому, что М. А. Усов с 1932 г. впервые в сибирской практике приступил к чтению соответствующих курсов не только в томских вузах, но и в производственных геологических организациях, так как считал, что морфологический анализ относится к числу очень важных методов восстановления геологической эволюции любого района и оказывает большую помощь полевым геологам

в решении различных практических задач. По сравнению с ранее опубликованными весьма содержательными работами Я. С. Эдельштейна [1933] и И. С. Щукина [1934] курс лекций М. А. Усова во всех отношениях представлял весьма оригинальное учебное пособие, выводы которого по многим вопросам геоморфологии и четвертичной геологии были рассмотрены с принципиально новых позиций. Опираясь на них, М. А. Усов сделал важные теоретические обобщения в развитии молодой науки о рельефе нашей планеты. Для того чтобы понять всю глубину теоретических положений ученого, определивших пути дальнейшего развития геоморфологии, необходимо сделать небольшой исторический экскурс.

История изучения рельефа Сибири убедительно свидетельствует о том, что великое разнообразие морфологических особенностей ее земной поверхности послужило основой успешной разработки главнейших теоретических положений современной геоморфологии, которые были установлены на базе анализа сибирских материалов и лишь в последующие годы получили свое дальнейшее развитие в трудах зарубежных исследователей. И. Д. Черский [1882] высказал обоснованные представления о древних этапах выравнивания рельефа Сибири и правильно оценил роль эндогенных и экзогенных факторов в развитии денудационных процессов. Он предвосхитил основополагающие и широко известные концепции В. Дэвиса [1968] и В. Пенка [1961] и определил главнейшие направления в проведении дальнейших исследований по изучению рельефа Сибири. В 20-е, 30-е и 40-е годы нашего столетия в познании рельефа Сибири большую роль сыграли работы В. А. Обручева [1922, 1936, 1948] о результатах изучения неотектонических движений. Новое направление в геоморфологии определило мнение М. А. Усова [1934] о том, что сложный процесс формирования и преобразования различных форм рельефа всегда связан с очень большим перемещением минеральных масс как на поверхности Земли, так и в самих горизонтах литосферы и астеносферы. За рубежом первые высказывания о необходимости изучения истории развития рельефа с учетом положений М. А. Усова были опубликованы лишь в 1969 г. в работе А. Стралера. Нельзя не сказать и о том, что И. Д. Черский [1882] и В. Пенк [1961] в своих работах писали о большой роли эндогенных и экзогенных процессов в перемещении минеральных масс, но не акцентировали на этом внимания читателя и по достоинству

ву не оценили ведущую роль указанного явления в сложной динамике морфогенеза. М. А. Усов [1934] не только отнес установленные факты грандиозного перемещения минеральных масс к основному закону геоморфологии, но и впервые ввел его основные положения в определение самой геоморфологической науки. До настоящего времени многие авторы при определении содержания геоморфологической науки обычно говорят о том, что «геоморфология — наука о рельефе Земли». В наши дни подобное определение не отражает уровня наших знаний о главных закономерностях происхождения, истории развития и современных изменений рельефа земной поверхности под влиянием природных и антропогенных процессов и явлений.

Будучи весьма эрудированным ученым в геологии (вещественный состав и структурная основа) и в геоморфологии (морфология и природа различных форм земной поверхности), М. А. Усов не только ввел в геоморфологию основополагающее понятие о балансе масс в земной коре, но и вплотную подошел к научному обоснованию системно-формационной концепции, которая только сейчас завоевывает всеобщее признание. Обобщая основные положения ученого в области геоморфологии с современных позиций системного подхода, следует отметить, что основа прогрессивного направления в развитии этой науки в нашей стране определяется в первую очередь правильным выбором объекта исследований. Для его выделения как определенной системы, необходимо провести ее границы с таким расчетом, чтобы охваченная территория обладала всеми свойствами единого целого в отношении внешней морфологической формы и внутреннего содержания. Части единого объекта должны тесно взаимодействовать друг с другом, придавая ему качественно отличные черты. Применительно к геоморфологии, по М. А. Усову, это будет комплекс взаимосвязанных элементов рельефа не только в процессе своего развития, но и генетической общности, возникшей в процессе длительного эволюционного развития Земли. В геоморфологической системе должны наблюдаться, по его мнению, и синхронность эндогенных и экзогенных процессов, и взаимная обусловленность их развития. Усилие первых должно вызывать усилие вторых, и наоборот. Между ведущими формами рельефа геоморфологических систем, по его представлениям, могут фиксироваться также и более сложные взаимодействия. При выделении той или иной геоморфологи-

ческой системы каждый автор должен обосновать ее разделение на отдельные части и рассмотреть их в динамике тесного взаимодействия в виде обмена веществом и энергией. В рельефообразующих процессах, по основному геоморфологическому закону М. А. Усова, этот обмен связан с перемещением минеральных масс на поверхности и в различных горизонтах литосферы и астеносферы. К числу наиболее активных агентов массового и повсеместного перемещения на земной поверхности, по его мнению, следует отнести все виды флювиальной эрозии и аккумуляции.

Для того чтобы более полно раскрыть новаторский подход М. А. Усова в познании современного и древнего рельефа, необходимо кратко остановиться на основных этапах исторического становления геоморфологии, так как только при этом условии мы сможем глубже понять большое значение его научных исследований в развитии молодой науки о рельефе Земли.

К концу XIX в. геоморфология достигла значительных успехов в результате изучения различных форм рельефа и тех процессов, которые привели к формированию ведущих морфологических элементов земной поверхности. В настоящее время геоморфологические исследования сосредоточены на выяснении климатических и геологических факторов, непосредственно влияющих на формирование горного и равнинного рельефа. В истории развития многих наук каждый этап сбора, накопления и анализа оригинального фактического материала закономерно сопровождается стадией проведения теоретических обобщений. К сожалению, в истории развития геоморфологии попытки использования новейших научных концепций в объяснении сложных природных процессов и явлений очень часто не достигали своей цели, так как высказанные теоретические положения не были достаточно аргументированы. Этот недочет был причиной отсутствия должного внимания к использованию комплексного анализа к расшифровке тех или иных природных процессов. Только этим можно объяснить тот факт, что на протяжении почти целого столетия отечественные и зарубежные геоморфологи развивают три различных теоретических направления в развитии науки о природе рельефа нашей планеты — историческое, климатическое и геологическое. Такое положение во многом было предопределено отсутствием обмена идеями, невниманием к развитию необходимой критики и большим заблуждением некоторых авторов

о якобы полной обоснованности их теоретических представлений.

В основу развития исторического подхода была положена дедуктивная схема В. Дэвиса, согласно которой рельеф проходил через стадии юности, зрелости и старости, характеризующиеся выравниванием земной поверхности. Эта концепция не могла эффективно учитывать сложную динамику рельефообразующих процессов, и поэтому многие ее исходные положения вытекали из предположений об истории формирования пенепленов.

Другое теоретическое направление в геоморфологии ведущую роль в истории развития рельефа отводило климату. Сторонники этого направления приводили многочисленные примеры, свидетельствующие в пользу того, что только климат обуславливает весь комплекс рельефообразующих процессов, которые, в свою очередь, создают в различных географических зонах разнотипные геоморфологические формы. И наконец, третья концепция отдавала пальму первенства в истории развития рельефа геологии. Следует особо подчеркнуть то обстоятельство, что за последние 30 лет отдельные направления этого течения (морфоструктурное, морфотектоническое, тектоноорогеническое и многие другие) усиленно развивались, но их исходные положения часто были весьма противоречивы в своей основе, и далеко не случайно термин «морфоструктура» в наши дни многие исследователи отнесли к группе терминов свободного пользования.

В нашей стране морфоструктурное направление в геоморфологии стало усиленно развиваться с 1946 г. Большая работа в этом направлении была выполнена И. П. Герасимовым [1946] в связи с использованием понятия о морфоструктуре и морфоскульптуре. Под первым наименованием он понимал «крупные формы рельефа, которые возникают в результате исторически развивающегося противоречивого взаимодействия эндогенных и экзогенных факторов при ведущей активной роли эндогенного фактора — тектонических движений». К морфоструктурам автор отнес «отдельные хребты, кряжи, массивы, плато, возвышенности, низменности, впадины на поверхности суши и на дне океана» [1946, с. 22]. К морфоскульптуре, по его мнению, «принадлежат те преимущественно мелкие формы, которые своим происхождением обязаны экзогенным процессам, взаимодействующим с другими факторами образования рельефа» [Там же]. Сюда он относил балки, овраги, моренные гряды, барханы, долины и многие другие

формы земной поверхности, возникающие под действием флювиальных, криогенных, эоловых и других процессов.

В последние годы тематические исследования советских и зарубежных геоморфологов прошли под флагом объединения усилий сторонников всех трех направлений в развитии геоморфологии на благодатной почве системного подхода. В связи с этим результаты исследований М. А. Усова в области развития основных геологических положений в учении о рельефе Земли приобретают особое значение. В чем же удивительная прозорливость научного поиска этого ученого в познании главнейших закономерностей в развитии рельефа земной поверхности? Она, без всякого сомнения, была предопределена двумя обстоятельствами. Во-первых, многогранной эрудицией М. А. Усова в геологии и в рассмотрении всех геоморфологических вопросов с широких геологических позиций и, во-вторых, великим разнообразием морфологических форм рельефа Сибири и их своеобразными сочетаниями в прямой зависимости от поэтапной смены палеогеографических и тектонических условий в истории развития любого региона. В познании рельефа он всегда исходил из данных тщательного анализа геоморфологической триады—история, климат, геологические предпосылки. Поэтому вполне закономерно, что теоретические воззрения М. А. Усова по основным вопросам геоморфологии весьма созвучны с основными положениями нового учения о геоморфологических формациях, которое успешно развивается в последние годы Н. А. Флоренсов [1976, 1978].

Общность теоретических воззрений этих видных ученых весьма ярко отражена в самом определении геоморфологической формации. Под этим термином Н. А. Флоренсов понимает «естественное и исторически обусловленное сочетание форм земной поверхности, связанных друг с другом единством места и времени и существующих при определенных тектонических и климатических режимах, которые порождают тот или иной способ их подвижного равновесия» [1976, с. 393]. Следует особо подчеркнуть, что исходные положения учения о геоморфологических формациях принципиально отличны от тех установок, которые заложены в основу проведения морфоструктурных и морфоскульптурных исследований. Их различие не только в неравноценном определении и роли эндогенных и экзогенных факторов, но и в соблюдении определенной методической последовательности в анализе фактических данных. Формационный анализ требует от любого

исследователя больших познаний как в геологии, так и в геоморфологии. Поэтому не случайно постановка вопроса о новом направлении в проведении геоморфологических исследований в настоящее время находится в полном соответствии с высоким уровнем геоморфологических и геологических знаний. Одновременно следует сказать и о том, что в своей монографии Н. А. Флоренсов [1978] сформулировал очень важное направление в познании сложных процессов морфогенеза путем изучения «литодинамических потоков», которые перемещают минеральные массы как на поверхности Земли, так и в самых горизонтах литосферы и астеносферы. Таким образом, он встал твердо на исходные позиции М. А. Усова о балансе масс в земной коре, которые им были впервые высказаны в работе «Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений» [1934].

В работах М. А. Усова вопросы геоморфологии и геологии четвертичных отложений всегда рассматриваются в тесной взаимосвязи с учетом активного влияния новейших тектонических движений на аккумуляцию разнофациальных отложений и на формирование разнотипных форм горного и равнинного рельефа Сибири. Его новаторский подход к изучению новейших образований и современного рельефа очень быстро вошел в практику полевых геологов Западно-Сибирского геологического треста, и итоги их исследований в указанном направлении были обобщены им в специальной статье [1937]. В результате анализа опубликованных и фондовых материалов геологосъемочных работ он пришел к следующим главнейшим выводам:

1. Все различимые террасы речных долин, представляющие основу рельефа Западно-Сибирской низменности, относятся к последнему — вюрмскому — циклу антропогена.

2. Количество речных террас, выраженных в рельефе, и их относительные высоты различны в различных частях страны от трех террас в центральной части Западно-Сибирской низменности до нескольких десятков на Алтае.

3. Образование террас было обусловлено частью подпруживанием р. Оби северными ледниками и в основном колебательными движениями земной коры с преобладавшим поднятием страны в течение рисского и вюрмского циклов антропогена.

4. В северной части страны было два центра оледенения; уральский и северосибирский, причем ледники сое-

двинулись несколько к востоку от современного меридионального участка низовьев долины р. Оби и края их проходили примерно через с. Самарово и южнее р. Ваха.

5. На Алтае ледники вюрмского оледенения были приурочены к верховьям крупных рек.

6. Моренные отложения максимальной фазы вюрмского оледенения на севере вошли в состав «страны», будучи перекрыты более молодыми отложениями и в рельефе не отражаются, а на Алтае они находятся на поверхности и даже отражаются в рельефе.

7. Рисские ледниковые отложения на севере страны сохранились в немногих участках от интерформационной денудации, испытав вместе с тем и значительное своеобразное выветривание, тогда как на Алтае они лежат вообще на поверхности, причем сильно пострадали от денудации.

8. И на севере и на Алтае рисское оледенение было более значительным, чем вюрмское.

9. От более ранних фаз антропогеновой истории на Западно-Сибирской низменности сохранилась лишь небольшая толща осадков, в которой пока обнаружены документы миндель-рисской эпохи, а в Алтайско-Кузнецкой области — отдельные эрратические валуны.

10. Выявлены антропогеновые фазы тектогенеза, на севере страны имеющие характер волновых движений, а на Алтае — глыбовой складчатости» [1937, с. 16].

Вполне естественно, что за почти полувековой срок дальнейшего изучения четвертичных отложений и рельефа Алтае-Саянской горной области и Западно-Сибирской равнины ученые-геологи имеют более полные и точные данные по сравнению с итоговыми результатами «усовского периода» их изучения. Но, несмотря на это, очень многие принципиальные положения М. А. Усова по рассматриваемой проблеме не только сохранили свое большое научное и практическое значение, но и являются до настоящего времени путеводной звездой на новом этапе восстановления истории формирования антропогеновых образований и рельефа Западной и Восточной Сибири. При определении исходных теоретических воззрений М. А. Усов особое внимание уделил всестороннему анализу речных террас и считал, что «долины являются ведущими формами рельефа, с одной стороны выражая его расчленение, и с другой — представляя местные базы денудации водораздельных пространств». Поэтому он утверждал, что террасы и ступени являются чрезвычай-

но важными объектами наиболее тщательных геоморфологических исследований. В своих работах он сделал детальный анализ и синтез террас, которые до этого описывались с позиций формального подхода. Одновременно с этим М. А. Усов дал и развернутую концепцию формирования нагорных ступеней и отметил, что в известных работах В. Дэвиса и В. Пенка этот вопрос был освещен лишь в самой общей форме. К основным ландшафтам суши он относил равнины и в своем оригинальном учебнике описал их с необходимой полнотой.

Теоретические положения М. А. Усова взяли на вооружение его соратники и ученики и в сравнительно короткий срок опубликовали интересные работы о рельефе и четвертичных отложениях многих районов Западной Сибири (И. К. Баженов, С. Г. Бейром, А. Я. Булытников, А. И. Гусев, С. Ф. Дубинкин, Р. С. Ильин, В. П. Казаринов, М. К. Коровин, В. А. Кузнецов, Ю. А. Кузнецов, А. М. Кузьмин, М. И. Кучин, А. Л. Матвеевская, А. С. Митропольский, И. А. Молчанов, А. С. Мухин, И. М. Мягков, М. П. Нагорский, В. А. Николаев, Г. В. Пинус, Г. Л. Поспелов, Б. Ф. Сперанский, Л. А. Рагозин, К. В. Радугин, Б. А. Тимофеевский, М. В. Тронов, К. Г. Тюменцев, Ф. Н. Шахов, Е. В. Шумилова). Специальные лекции М. А. Усова об основах геоморфологии и геологии рыхлых отложений вызвали живой интерес у большой армии геологов, работавших в 30-е годы в различных производственных организациях Западной и Восточной Сибири. Его идеи нашли отражение в их отчетах о результатах геолого-съемочных и разведочных работ, в которых освещались интересные материалы о рельефе и новейших образованиях Алтае-Саянской горной области и Западно-Сибирской равнины.

В 30-е годы М. А. Усов и его ученики успешно развивали научную теорию палеогеографической эволюции Западно-Сибирской равнины, которую относили к классу великих аллювиальных равнин. Они справедливо критиковали устаревшее мнение о широком развитии на ее территории в четвертичное время мощных озерных систем и убедительно доказали большую роль неотектоники и древней речной сети в истории формирования современного рельефа Западно-Сибирской равнины. В те далекие годы сибирские геоморфологи не располагали еще необходимыми материалами для более полной реконструкции всей системы древних и современных долин. Но их новая научная концепция убедительно исходила из логического

анализа всех имевшихся тогда исходных фактических данных. Представление сибирских геоморфологов усювской школы о природе рельефа Западно-Сибирской равнины не только не потеряло своего значения в наши дни, а, наоборот, послужило хорошей основой для дальнейшего развития геоморфологических исследований на ее территории.

По новейшим данным с историей зарождения и развития древней и современной гидрографической сети Западно-Сибирской равнины тесно связаны все особенности ее современной морфологии, определяющие основные пути ее народнохозяйственного освоения. В многочисленных публикациях последних лет сообщается, что рельеф величайшей равнины мира в основном был создан не в результате последовательной эволюции реликтовых озер неогена и не в процессе развития весьма обширных подпрудных и морских бассейнов, как об этом многие предполагали раньше, а в итоге закономерного формирования мощной системы древних прарек и современных речных артерий. Их пространственное расположение в значительной степени предопределено общим характером проявления новейших движений, причем на протяжении длительной геологической истории они развивались унаследованно. Неотектонические движения в районах Западно-Сибирской равнины последовательно формируют три ведущие структурные формы. С одной стороны, серию внутренних замкнутых и открытых северных впадин и, с другой — разделяющую их систему положительных структур Обь-Енисейской зоны. В системе внутренних впадин, в свою очередь, обособляются значительные положительные структуры в виде Демьяновского свода и Обского выступа.

Отмеченные особенности в характере проявления новейших и современных движений на территории Западно-Сибирской равнины очень ярко отражены в ее общей орографии и в конфигурации гидрографической сети. Все основные водоразделы бассейнов Енисея и Оби, Оби и Иртыша приурочены к областям тектонических поднятий, в геологическом строении которых принимают участие третичные и меловые образования. В пределах тектонических впадин широко развиты древние и молодые террасовые равнины, сформированные в четвертичное время в результате регионального проявления аллювиальных процессов. На юге равнины к тектоническим впадинам приурочены бессточные озерные бассейны.

Палеогеографические реставрации свидетельствуют о том, что на большей части территории Западно-Сибирской равнины современные долины Оби и Иртыша и их главнейших притоков закономерно приурочены к системе древних прарек. Они отличались исключительно большой многоводностью и максимальной активностью в направлении интенсивного размыва нижележащих третичных образований и формирования предельно широких и глубоких речных долин, выполненных мощной толщей аллювиальных осадков. Аналогичные процессы при создании современных долин Оби и Иртыша протекали в весьма скромных масштабах по сравнению с эпохами прарек раннего антропогена и в основном осваивали ранее отработанные формы мощной системы прарек.

В результате совмещения древних и современных речных систем в центральных и северных районах Западно-Сибирской равнины аллювиальные образования получили широкое развитие. В Сургутском Приобье или в нижнем течении Иртыша поражает грандиозным масштабом речных долин. Колоссальная пойма и не менее значительные области распространения надпойменных террас вполне сопоставимы с общей территорией водоразделов. Почти предельная соизмеримость древних и современных террасовых равнин и водоразделов составляет наиболее характерную особенность в геоморфологическом строении центральной зоны Западно-Сибирской равнины и многих районов ее северной части.

Мы не случайно более подробно остановились на освещении последних результатов изучения геоморфологического строения Западно-Сибирской равнины. Они наглядно подтверждают главнейшие положения М. А. Усова о том, что долины являются ведущими формами рельефа Земли и их развитие во многом предопределяет длительный процесс геологической истории того или иного региона. В связи с этим следует еще раз подчеркнуть, что сторонники господствовавшего в нашей стране в течение последнего 35-летнего периода морфоструктурного направления в развитии геоморфологии речные долины относили к морфоскульптурным формам рельефа [Герасимов, 1946]. В свете рассмотренных теоретических положений М. А. Усова нет необходимости излагать особые комментарии по поводу отнесения речных долин к морфоскульптурам. Речные долины были, есть и будут всегда ведущими формами рельефа нашей планеты.

Выводы М. А. Усова об истории развития рельефа

Алтае-Саянской области и, в частности, его обоснованные высказывания о двухкратном оледенении указанной горной страны убедительно доказаны итоговыми результатами геолого-геоморфологических исследований, проведенных на протяжении последних 40 лет. Подтвердились также его выводы и о том, что рисское оледенение было более значительным, а вюрмское охватывало только верховья крупных речных систем. В свете новых данных оправдались утверждения М. А. Усова о том, что современный рельеф сложно построенной территории Алтае-Саянской горной страны был создан в основном в результате новейших тектонических движений. Амплитуда поднятий достигала 3000—3500 м. Активизированное поднятием врезание речной сети привело к расчленению ярусной поверхности, а оледенение придало альпийский облик высоким горным хребтам и образовало наложенный аккумулятивный рельеф.

Период деятельности М. А. Усова в познании природы рельефа Сибири и ее четвертичных отложений сыграл большую роль в развитии дальнейших исследований. Его ученики и их последователи успешно работают в академических, учебных и отраслевых институтах Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР. Они всемерно развивают научные концепции М. А. Усова по актуальным проблемам геоморфологии и геологии четвертичных отложений. В наши дни геоморфология непрерывно наращивает свой теоретический и практический потенциал благодаря широкому использованию космической информации, развитию новых приемов комплексного анализа и освоения электронно-вычислительной техники. Она развивает свои контакты со всеми подразделениями географии и геологии. На грани смежных научных направлений происходит взаимное обогащение поисковой информацией, на базе которой определяются прогрессивные теоретические воззрения. В их числе всеобщее внимание сейчас привлекает новый системно-формационный подход к познанию рельефа, который отражает диалектическое единство эндогенных и экзогенных процессов, порождающих обусловленное сочетание положительных и отрицательных форм земной поверхности.

Высказанные положения позволяют говорить о том, что геоморфология наших дней не только объединяет, но и цементирует отдельные звенья единой цепи естественных наук. Это вполне естественно, так как практика последних лет наглядно показала, что при решении любой слож-

ной народнохозяйственной проблемы результаты изучения рельефа приобретают особо важное, а в ряде случаев решающее значение. В наши дни научные положения М. А. Усова получили дальнейшее развитие не только в работах сибирских геоморфологов, но и в трудах многих других советских и зарубежных специалистов, посвященных познанию рельефа нашей планеты. Это обстоятельство диктует необходимость повторного издания выдающегося труда М. А. Усова «Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений», что явится новым стимулом для дальнейшего развития науки о формах рельефа и горных породах, образующих его.

ЛИТЕРАТУРА

- Герасимов И. П. Опыт геоморфологической интерпретации общей схемы геологического строения СССР.— В кн.: Проблемы физической географии. Т. 12. М.: Наука, 1946, с. 21—50.
- Дэвис В. М. Геоморфологические очерки. М.: ИЛ, 1962. 455 с.
- Обручев В. А. Юные движения на древнем теменн Азии.— Природа, 1922, № 8-9, с. 6—18.
- Обручев В. А. Молодость рельефа Сибири.— В кн.: Академику В. И. Вернадскому. К 50-летию научной и педагогической деятельности. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1936, с. 36—52.
- Обручев В. А. Основные черты кинетики и пластики неотектоники.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1948, № 5, с. 14—22.
- Пенк В. Морфологический анализ. М.: Географиздат, 1961. 360 с.
- Усов М. А. Элементы геоморфологии и четвертичной геологии. Томск: изд. Зап.-Сиб. геол. управления, 1934. 97 с.
- Усов М. А. Основные результаты работ Западно-Сибирского геологического треста по изучению четвертичной геологии Западной Сибири.— Вестн. Зап.-Сиб. геол. треста, 1937, № 1, с. 1—16.
- Флоренсов Н. А. Геоморфологические формации.— В кн.: Проблемы эндогенного рельефообразования. М.: Наука, 1976, с. 389—420.
- Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 238 с.
- Черский И. Д. К вопросу о следах древних ледников в Восточной Сибири.— Изв. Вост.-Сиб. отд. Русск. геогр. о-ва, 1882, т. 12, № 4-5, с. 4—38.
- Щукин И. С. Общая морфология суши. Т. 1, 2. М.: ГОНТИ, 1934. 331 с.
- Эдельштейн Я. С. Введение в геоморфологию. Л.: Кубуч, 1933. 620 с.

М. А. УСОВ — ОСНОВОПОЛОЖНИК ИЗУЧЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИИ СИБИРИ

Научную деятельность М. А. Усов начал под руководством академика В. А. Обручева — геолога-натуралиста, ставившего в основу исследований полевые наблюдения. Участвуя в экспедициях под его руководством по Джунгарии, Михаил Антонович, хотя и не проводил специальных исследований по геоморфологии, не мог не обратить внимание на своеобразие ее рельефа и связь его с геологическим строением. Тесные связи его с сибирскими геологами-съемщиками и поисковиками давали возможность получить новый фактический материал, который он включал в курс геоморфологии, читавшийся им с 1932 г. студентам Сибирского горного института.

М. А. Усов был убежден, что знание элементов геоморфологии геологоразведчику необходимо. Поэтому в 1934 г. он прочитал цикл лекций для научных работников Западно-Сибирского геолого-гидрогеодезического треста, которые были изданы отдельной книгой [Усов, 1934, 1960]. В лекциях были даны характеристики не только форм рельефа, с которыми геологи встречаются в условиях Западной Сибири, но отражены и кардинальные вопросы геоморфологического анализа. Курс лекций включал такие крупные разделы геоморфологии, как поверхности выравнивания, долины, террасы и ступени, равнины и горы, континентальные циклы постплиоцена.

М. А. Усов утверждал, что морфологический анализ является одним из наиболее существенных методов восстановления геологической истории данного района и решения ряда практических вопросов. Он определял геоморфологию как науку о формах земной поверхности, главным образом суши, изучающую внешний вид, происхождение и изменение различных форм рельефа. В его работах подчеркивается тесная связь геоморфологии и геологии, как части и целого, отмечается, что геологические процессы оформляют рельеф; геоморфология позволяет восстанавливать геологические процессы, которые привели к образованию и изменению данных форм рельефа, а также те существенные условия, при которых протекали эти процессы.

М. А. Усов большое значение придавал изучению геоморфологических уровней, возникающих в результате взаимодействия эндогенных и экзогенных сил. Он считал, что поверхности выравнивания представляют конечный результат деятельности денудационных процессов, ту основу, на которой под воздействием эндогенных движений экзогенные процессы в зависимости от климатических условий создают многообразие геоморфологических ландшафтов. Как и В. М. Дэвис, он рассматривал климат в качестве основного фактора, влияющего на проявление тех или других экзогенных процессов, а следовательно, и на развитие определенного цикла денудации. К наиболее существенным агентам денудации он относил воду, которая выполняет свою работу при любом климате. Пенеплены, по его мнению, возникают в процессе завершения геоморфологических циклов в условиях сухого климата. Современные исследования свидетельствуют, что пенеplanation рельефа зависит в основном от тектонического режима, а не климата.

Вслед за Я. С. Эдельштейном в качестве синонима понятия «рельеф» он употреблял термин «геоморфологический ландшафт», т. е. подошел весьма близко к современному системно-формационному его понятию, развиваемому сибирскими геоморфологами.

Смена ландшафтов, по его мнению, происходила циклически, путем бесчисленного повторения примерно одних и тех же форм, непрерывно-прерывистым путем. Г. Ц. Медоев отметил, что термины «цикл» и «цикличность» в их прямом смысле не отражают характера поступательного развития Земли, ибо, как показали классики марксизма-ленинизма, развитие выражается спиральным характером поступательного движения [Усов, 1950]. Как большинство геологов и геоморфологов того времени, М. А. Усов этими терминами пользовался по установившейся традиции, оговаривая, что «циклы не являются простым повторением предыдущего: каждый цикл является индивидуальным и каждый новый геологический документ обладает своими особенностями» [1950, с. 8].

Весьма обстоятельно он разобрал вопрос о речных долинах, выражающих степень расчленения рельефа и служащих местными базами денудации водораздельных пространств, произвел их классификацию и анализ фаз эрозии, описал геометрические типы речных сетей.

В качестве важных морфотектонических документов им рассмотрены речные террасы и нагорные ступени, ус-

М. А. УСОВ — ОСНОВОПОЛОЖНИК ИЗУЧЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИИ СИБИРИ

Научную деятельность М. А. Усов начал под руководством академика В. А. Обручева — геолога-натуралиста, ставившего в основу исследований полевые наблюдения. Участвуя в экспедициях под его руководством по Джунгарии, Михаил Антонович, хотя и не проводил специальных исследований по геоморфологии, не мог не обратить внимание на своеобразие ее рельефа и связь его с геологическим строением. Тесные связи его с сибирскими геологами-съемщиками и поисковиками давали возможность получить новый фактический материал, который он включал в курс геоморфологии, читавшийся им с 1932 г. студентам Сибирского горного института.

М. А. Усов был убежден, что знание элементов геоморфологии геологоразведчику необходимо. Поэтому в 1934 г. он прочитал цикл лекций для научных работников Западно-Сибирского геолого-гидрогеодезического треста, которые были изданы отдельной книгой [Усов, 1934, 1960]. В лекциях были даны характеристики не только форм рельефа, с которыми геологи встречаются в условиях Западной Сибири, но отражены и кардинальные вопросы геоморфологического анализа. Курс лекций включал такие крупные разделы геоморфологии, как поверхности выравнивания, долины, террасы и ступени, равнины и горы, континентальные циклы постплиоцена.

М. А. Усов утверждал, что морфологический анализ является одним из наиболее существенных методов восстановления геологической истории данного района и решения ряда практических вопросов. Он определял геоморфологию как науку о формах земной поверхности, главным образом суши, изучающую внешний вид, происхождение и изменение различных форм рельефа. В его работах подчеркивается тесная связь геоморфологии и геологии, как части и целого, отмечается, что геологические процессы оформляют рельеф; геоморфология позволяет восстанавливать геологические процессы, которые привели к образованию и изменению данных форм рельефа, а также те существенные условия, при которых протекали эти процессы.

М. А. Усов большое значение придавал изучению геоморфологических уровней, возникающих в результате взаимодействия эндогенных и экзогенных сил. Он считал, что поверхности выравнивания представляют конечный результат деятельности денудационных процессов, ту основу, на которой под воздействием эндогенных движений экзогенные процессы в зависимости от климатических условий создают многообразие геоморфологических ландшафтов. Как и В. М. Дэвис, он рассматривал климат в качестве основного фактора, влияющего на проявление тех или других экзогенных процессов, а следовательно, и на развитие определенного цикла денудации. К наиболее существенным агентам денудации он относил воду, которая выполняет свою работу при любом климате. Пенеплены, по его мнению, возникают в процессе завершения геоморфологических циклов в условиях сухого климата. Современные исследования свидетельствуют, что пенепленизация рельефа зависит в основном от тектонического режима, а не климата.

Вслед за Я. С. Эдельштейном в качестве синонима понятия «рельеф» он употреблял термин «геоморфологический ландшафт», т. е. подошел весьма близко к современному системно-формационному его понятию, развиваемому сибирскими геоморфологами.

Смена ландшафтов, по его мнению, происходила циклически, путем бесчисленного повторения примерно одних и тех же форм, непрерывно-прерывистым путем. Г. Ц. Медоев отметил, что термины «цикл» и «цикличность» в их прямом смысле не отражают характера поступательного развития Земли, ибо, как показали классики марксизма-ленинизма, развитие выражается спиральным характером поступательного движения [Усов, 1950]. Как большинство геологов и геоморфологов того времени, М. А. Усов этими терминами пользовался по установившейся традиции, оговаривая, что «циклы не являются простым повторением предыдущего: каждый цикл является индивидуальным и каждый новый геологический документ обладает своими особенностями» [1950, с. 8].

Весьма обстоятельно он разобрал вопрос о речных долинах, выражающих степень расчленения рельефа и служащих местными базами денудации водораздельных пространств, произвел их классификацию и анализ фаз эрозии, описал геометрические типы речных сетей.

В качестве важных морфотектонических документов им рассмотрены речные террасы и нагорные ступени, ус-

ложняющие: первые — речные долины, а вторые — поднятые участки суши. В отличие от В. Пенка, считавшего, что многоярусные горные ландшафты формировались в условиях прерывистого общего тектонического воздымания при любых климатических условиях, М. А. Усов признавал, что для этого необходимым условием были существование блоковых движений по разломам и наличие сухого климата, ограничивающего развитие растительного покрова. По его мнению, сибирские горы имеют складчато-блоковое (сибиретипное) строение, обусловленное неравномерными движениями по разломам. Он считал горы временными образованиями на поверхности Земли, а основным ландшафтом суши являются равнины, среди которых выделял денудационный и аккумулятивный типы. Холмистый рельеф он понимал как усложнение равнинного ландшафта, а также небольшое дополнение к главному ландшафту. Особое внимание он обращал на влияние климата в процессе формирования равнин. Впервые им выделены ископаемые денудационные и абразионные равнины и на примерах Сибирского Приуралья и Северной Норвегии рассмотрены условия их образования. Он выделил и наложенные формы ледникового и эолового рельефов, а также типы расчлененного рельефа, возникающего в условиях выравненных поднимающихся участков суши (столовые горы, останцы, монадноки, куэсты, мелкосопочник).

Огромное значение придавал М. А. Усов расчленению постплиоценовых рыхлых отложений, коррелятивных современному рельефу. Соглашаясь в общем со стратиграфической схемой А. Пенка и Э. Брюкнера, отвечающей четырем циклам эрозии и сменам климата, он, критически разобрав применение ее западно-сибирскими геологами (А. М. Кузьминым, Р. С. Ильиным, К. В. Радугиным), предостерег от упрощенства и возможности ошибок в установлении основных циклов постплиоцена по одному рельефу, допускал применение этой схемы лишь в грубом приближении. Корреляцию и синхронизацию четвертичных отложений и связанных с ними форм рельефа он рекомендовал проводить по органическому остаткам, особенно млекопитающих. Он призывал геологов Западной Сибири к более глубокому ознакомлению со всеми теоретическими вопросами, возникающими в связи с изучением форм рельефа и рыхлых отложений как существенно антропогенных образований, а также к более тща-

тельному сбору соответствующих материалов и к их надлежащей проработке.

Некоторые проблемы геоморфологии он рассмотрел в статье «Орография и геология Кентейского хребта в Монголии» [1915], в предисловии к книге А. И. Гусева [1934], в статье «Геологическая изученность и задачи ближайших исследований Салаира» [1935], в «Общем очерке геологической истории и полезных ископаемых Салаирского кряжа» [1936] и в книге «Введение в геологию» [1950]. В последней работе он дал уточненное определение геоморфологии: «Дисциплина, изучающая формы рельефа в их возникновении, развитии и взаимных переходах называется геоморфологией». Здесь же он отметил, что «ведущими в жизни Земли являются эндогенные геологические процессы. Они закладывают основные формы рельефа земной поверхности, обуславливают проявление экзогенных процессов...»; «...формы рельефа земной поверхности... являются специфическим результатом борьбы между эндо- и экзогенными процессами...» [1950, с. 5, 10]. В одной из глав им рассмотрены условия проявления экзогенных процессов в зависимости от основных форм рельефа суши и морского дна и дано их определение. В обеих статьях по Салаиру некоторое освещение получила палеогеоморфология кряжа: оформление его границ и формирование мезозойско-кайнозойского пенеплена.

М. А. Усов заслуженно считается основоположником изучения геоморфологии в Сибири. Его книга «Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений» долгое время служила учебником для студентов (особенно сибирских вузов) и явилась настольным пособием геологов-производственников. На теоретических представлениях М. А. Усова выросло не одно поколение геологов, владеющих геоморфологическим методом исследований. В настоящее время в Сибири сформировались два геоморфологических центра — новосибирский и иркутский, в которых работают ученики и последователи М. А. Усова. Главной особенностью новосибирской геоморфологической школы, по мнению известного геоморфолога Ю. А. Мещерякова, является ее глубоко последовательный палеогеоморфологический подход. Иркутские же геоморфологи успешно развивают учение о геоморфологических формациях. Совместными усилиями сибирских, дальневосточных, московских и ленинградских геоморфологов создана монументальная многотомная монографическая серия книг «История развития рельефа Сибири и Дальнего

Востока», продолжается изучение современного рельефа в целях рационального использования природных ресурсов в народном хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

- Гусев А. И.** Геологическое строение и полезные ископаемые района г. Новосибирска.— Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1934. 182 с.
- Усов М. А.** Орография и геология Кентейского хребта в Монголии.— Изв. Геол. комитета, 1915, т. XXXI, № 8, с. 889—998.
- Усов М. А.** Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений.— Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-разв. треста, 1934. 87 с.
- Усов М. А.** Геологическая изученность и задачи ближайших исследований Салаира.— Вестн. Зап.-Сиб. геол. треста, 1935, № 5, с. 3—10.
- Усов М. А.** Общий очерк геологической истории и полезных ископаемых Салаирского кряжа.— В кн.: Салаир. Новосибирск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936, с. 14—21.
- Усов М. А.** Введение в геологию. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1950. 167 с.
- Усов М. А.** Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 172—245.

И. Т. ЛОЗОВСКИЙ

М. А. УСОВ И В. А. ОБРУЧЕВ

Михаил Антонович Усов родился (20) 8 февраля 1883 г. в г. Каинске Томской губернии (ныне г. Куйбышев Новосибирской области) в семье мелкого торгового служащего. Отец полагал, что сын должен пойти по его стопам, а для этого вполне хватит начального образования. Однако учитель, высоко ценивший способности своего ученика, убедил мать, что их сын весьма одаренный мальчик и ему необходимо продолжить учение. Мать поверила учителю. Благодаря ее стараниям юноша был определен учиться в Омскую классическую гимназию.

Достатка в семье не было, родители не могли помогать сыну материально. В годы учебы в гимназии Михаил Антонович вынужден был зарабатывать себе на жизнь уроками. Не только себе, но и содержать свою сестру, кото-

рую также определили учиться в Омскую женскую гимназию.

В годы учебы он близко сошелся со многими одноклассниками, некоторые из них впоследствии стали известными учеными: академик И. М. Майский, заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор Д. А. Стрельников, профессор Е. С. Сорокин.

Годы учебы в Омске весьма точно описал в характеристике, выданной при поступлении М. А. Усова на горное отделение Томского технологического института, директор гимназии Вознесенский:

«Усов Михаил, 17 лет, сын мещанина, из семьи небогатой. Выдающиеся способности, любовь к усидчивому труду и отличное поведение ставили Усова всегда выше его товарищей. Проживая на уроках в чужом доме, где он должен был заниматься с тремя или четырьмя учениками разных классов, Усов всегда успевал готовить и свои уроки без особого напряжения для здоровья. Усов всегда знал, что ему нужно было знать, отчетливо, ясно, толково. Ясность мысли, отчетливость понимания и выражения были всегда отличительными чертами Усова. В нравственном отношении Усов отличался редкой чистотой и благородством. Усова всегда любили товарищи, даже в тех случаях, когда он шел в разрез с общим настроением класса. Усов участвовал в хоре, был хорошим чтецом на литературных вечерах, недурным скрипачом. Усов будет прекрасный студент, отличный товарищ и редких качеств человек»¹.

Летом 1901 г. Михаил Антонович с золотой медалью окончил гимназию и вместе со своим одноклассником Дмитрием Александровичем Стрельниковым, получившим серебряную медаль, подал заявление на открывшееся в этом году Горное отделение Технологического института в Томске. Почти вся дальнейшая жизнь и Михаила Антоновича, и Дмитрия Александровича была связана с Сибирью и Томским политехническим институтом, в котором они работали.

М. А. Усов был одним из первых студентов горного отделения. Своими способностями, трудолюбием обратил на себя внимание декана горного отделения профессора В. А. Обручева. Владимир Афанасьевич долго и внимательно присматривался к студенту. Чем дальше, тем больше нравился ему этот скромный, немногословный

¹ Архив Академии наук СССР, ф. 1525, оп. 2, д. 4, л. 1.

Востока», продолжается изучение современного рельефа в целях рационального использования природных ресурсов в народном хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

- Гусев А. И.** Геологическое строение и полезные ископаемые района г. Новосибирска.— Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-гидро-геодез. треста, 1934. 182 с.
- Усов М. А.** Орография и геология Кентейского хребта в Монголии.— Изв. Геол. комитета, 1915, т. XXXI, № 8, с. 889—998.
- Усов М. А.** Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений.— Томск: изд. Зап.-Сиб. геол.-разв. треста, 1934. 87 с.
- Усов М. А.** Геологическая изученность и задачи ближайших исследований Салаира.— Вестн. Зап.-Сиб. геол. треста, 1935, № 5, с. 3—10.
- Усов М. А.** Общий очерк геологической истории и полезных ископаемых Салаирского кряжа.— В кн.: Салаир. Новосибирск: изд. Зап.-Сиб. геол. треста, 1936, с. 14—21.
- Усов М. А.** Введение в геологию. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1950. 167 с.
- Усов М. А.** Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений.— В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 172—245.

И. Т. ЛОЗОВСКИЙ

М. А. УСОВ И В. А. ОБРУЧЕВ

Михаил Антонович Усов родился (20) 8 февраля 1883 г. в г. Каинске Томской губернии (ныне г. Куйбышев Новосибирской области) в семье мелкого торгового служащего. Отец полагал, что сын должен пойти по его стопам, а для этого вполне хватит начального образования. Однако учитель, высоко ценивший способности своего ученика, убедил мать, что их сын весьма одаренный мальчик и ему необходимо продолжить учение. Мать поверила учителю. Благодаря ее стараниям юноша был определен учиться в Омскую классическую гимназию.

Достатка в семье не было, родители не могли помогать сыну материально. В годы учебы в гимназии Михаил Антонович вынужден был зарабатывать себе на жизнь уроками. Не только себе, но и содержать свою сестру, кото-

рую также определили учиться в Омскую женскую гимназию.

В годы учебы он близко сошелся со многими одноклассниками, некоторые из них впоследствии стали известными учеными: академик И. М. Майский, заслуженный деятель науки, доктор технических наук, профессор Д. А. Стрельников, профессор Е. С. Сорокин.

Годы учебы в Омске весьма точно описал в характеристике, выданной при поступлении М. А. Усова на горное отделение Томского технологического института, директор гимназии Вознесенский:

«Усов Михаил, 17 лет, сын мещанина, из семьи небогатой. Выдающиеся способности, любовь к усидчивому труду и отличное поведение ставили Усова всегда выше его товарищей. Проживая на уроках в чужом доме, где он должен был заниматься с тремя или четырьмя учениками разных классов, Усов всегда успевал готовить и свои уроки без особого напряжения для здоровья. Усов всегда знал, что ему нужно было знать, отчетливо, ясно, толково. Ясность мысли, отчетливость понимания и выражения были всегда отличительными чертами Усова. В нравственном отношении Усов отличался редкой чистотой и благородством. Усова всегда любили товарищи, даже в тех случаях, когда он шел в разрез с общим настроением класса. Усов участвовал в хоре, был хорошим чтецом на литературных вечерах, недурным скрипачом. Усов будет прекрасный студент, отличный товарищ и редких качеств человек»¹.

Летом 1901 г. Михаил Антонович с золотой медалью окончил гимназию и вместе со своим одноклассником Дмитрием Александровичем Стрельниковым, получившим серебряную медаль, подал заявление на открывшееся в этом году Горное отделение Технологического института в Томске. Почти вся дальнейшая жизнь и Михаила Антоновича, и Дмитрия Александровича была связана с Сибирью и Томским политехническим институтом, в котором они работали.

М. А. Усов был одним из первых студентов горного отделения. Своими способностями, трудолюбием обратил на себя внимание декана горного отделения профессора В. А. Обручева. Владимир Афанасьевич долго и внимательно присматривался к студенту. Чем дальше, тем больше нравился ему этот скромный, немногословный

¹ Архив Академии наук СССР, ф. 1525, оп. 2, д. 4, л. 1.

юноша, обладавший завидным трудолюбием, умением быстро схватить суть дела, понять главное в лекции. Однажды он пригласил Усова к себе домой и познакомил с семьей.

Сыновья профессора — Владимир и Сергей — учились в реальном училище и готовились поступить на горное отделение Политехнического института.

Особенно дружеские отношения у Михаила Антоновича сложились со средним сыном профессора — Сергеем Владимировичем, с которым впоследствии бывал в экспедициях. Их объединяла любовь к науке, страсть к познаниям. Дружба продолжалась в течение всей их жизни, и когда судьба развела их в разные города страны, и когда оба стали выдающимися учеными.

Михаил Антонович рос в бедной мещанской семье, с ограниченной психологией, нравами, обычаями, где верхом счастья считалось материальное благополучие. В те годы читал он мало. Дома книг не было, их не на что было приобретать. В годы учебы в гимназии много времени тратил на заработки и подготовку собственных уроков. Ему просто некогда было читать литературу, которую, кстати, и достать-то было трудно.

Прекрасная библиотека профессора В. А. Обручева, многочисленные коллекции, собранные Владимиром Афанасьевичем во время его экспедиций по Средней Азии, Сибири, Монголии, Китаю, разнообразные экзотические предметы и экспонаты, привезенные профессором из дальних странствий, не только заинтересовали юного сибиряка, но и дали повод для раздумий, ответ на которые он стремился найти в литературе. Имея возможность пользоваться с любезного разрешения профессора книгами библиотеки, он увлекся чтением. Книги расширяли его кругозор, помогали разобраться во многих вопросах.

Общение с семьей В. А. Обручева оказывало огромное влияние на молодого Усова. Члены семьи владели многими европейскими языками — немецким, французским, английским, знали многие славянские, что позволяло их другу совершенствовать свои познания и в этой области.

Встреча с Владимиром Афанасьевичем Обручевым определила весь дальнейший жизненный путь Михаила Антоновича. В лице профессора он нашел не только выдающегося учителя и научного руководителя, но и заботливого наставника, человека, который поддерживал его в трудную минуту, помогал преодолевать многие препятствия.

Свое практическое знакомство с геологией М. А. Усов начал под руководством В. А. Обручева. В 1906 г. он отправился вместе с ним в экспедицию в Пограничную Джунгарию.

Профессор поручил молодому ее участнику обязанности коллектора и сбор коллекции минералов для геологического кабинета института. С высокой ответственностью выполняет он порученное ему дело, тщательно отбирает образцы минералов. Его работа не раз одобрялась начальником экспедиции. В работе экспедиции принимает участие и Сергей Обручев. Совместно с ним Михаил Антонович вел маршрутную съемку, и оба хорошо зарекомендовали себя.

О работе экспедиции Владимир Афанасьевич пишет в Томск: «Усов помогает отлично; сначала мы наблюдали вместе, но уже дней десять как разделились: первую половину каждого перехода работаю я, а вторую он. Затем пишем каждый свой полевой дневник; так что работа идет легче и подробнее»².

Впоследствии часть коллекции горных пород, собранных во время второй Джунгарской экспедиции под руководством В. А. Обручева, послужила Михаилу Антоновичу материалом для его дипломной работы «Граниты Джаира».

В 1908 г. Михаил Антонович отлично защитил дипломный проект и получил звание горного инженера-геолога.

Учитывая блестящие способности М. А. Усова и достоинства представленной им работы, совет института по предложению В. А. Обручева оставляет его на кафедре для подготовки к научной деятельности. Много лет спустя Владимир Афанасьевич сказал по этому поводу, что вряд ли за всю долгую жизнь он еще раз сделал такой удачный выбор кандидата для подготовки к профессорской деятельности³.

В 1909 г. В. А. Обручев организывает третью экспедицию в Пограничную Джунгарию и приглашает М. А. Усова в качестве своего помощника. Михаил Антонович с благодарностью принял предложение учителя и наставника и блестяще выполнил всю порученную ему работу. В 1910 г. молодого инженера приглашают при-

² Личный архив В. А. Обручева в Москве. Письмо к жене от 03. VI 1906 г. Здесь и далее ссылки даются на письма из личного архива семьи Обручевых, предоставленные автору статьи внучкой В. А. Обручева Н. В. Обручевой.

³ Личный архив В. А. Обручева в Москве. Воспоминания.

юноша, обладавший завидным трудолюбием, умением быстро схватить суть дела, понять главное в лекции. Однажды он пригласил Усова к себе домой и познакомил с семьей.

Сыновья профессора — Владимир и Сергей — учились в реальном училище и готовились поступить на горное отделение Политехнического института.

Особенно дружеские отношения у Михаила Антоновича сложились со средним сыном профессора — Сергеем Владимировичем, с которым впоследствии бывал в экспедициях. Их объединяла любовь к науке, страсть к познаниям. Дружба продолжалась в течение всей их жизни, и когда судьба развела их в разные города страны, и когда оба стали выдающимися учеными.

Михаил Антонович рос в бедной мещанской семье, с ограниченной психологией, нравами, обычаями, где верхом счастья считалось материальное благополучие. В те годы читал он мало. Дома книг не было, их не на что было приобретать. В годы учебы в гимназии много времени тратил на заработки и подготовку собственных уроков. Ему просто некогда было читать литературу, которую, кстати, и достать-то было трудно.

Прекрасная библиотека профессора В. А. Обручева, многочисленные коллекции, собранные Владимиром Афанасьевичем во время его экспедиций по Средней Азии, Сибири, Монголии, Китаю, разнообразные экзотические предметы и экспонаты, привезенные профессором из дальних странствий, не только заинтересовали юного сибиряка, но и дали повод для раздумий, ответ на которые он стремился найти в литературе. Имея возможность пользоваться с любезного разрешения профессора книгами библиотеки, он увлекся чтением. Книги расширяли его кругозор, помогали разобраться во многих вопросах.

Общение с семьей В. А. Обручева оказывало огромное влияние на молодого Усова. Члены семьи владели многими европейскими языками — немецким, французским, английским, знали многие славянские, что позволяло их другу совершенствовать свои познания и в этой области.

Встреча с Владимиром Афанасьевичем Обручевым определила весь дальнейший жизненный путь Михаила Антоновича. В лице профессора он нашел не только выдающегося учителя и научного руководителя, но и заботливого наставника, человека, который поддерживал его в трудную минуту, помогал преодолевать многие препятствия.

Свое практическое знакомство с геологией М. А. Усов начал под руководством В. А. Обручева. В 1906 г. он отправился вместе с ним в экспедицию в Пограничную Джунгарию.

Профессор поручил молодому ее участнику обязанности коллектора и сбор коллекции минералов для геологического кабинета института. С высокой ответственностью выполняет он порученное ему дело, тщательно отбирает образцы минералов. Его работа не раз одобрялась начальником экспедиции. В работе экспедиции принимает участие и Сергей Обручев. Совместно с ним Михаил Антонович вел маршрутную съемку, и оба хорошо зарекомендовали себя.

О работе экспедиции Владимир Афанасьевич пишет в Томск: «Усов помогает отлично; сначала мы наблюдали вместе, но уже дней десять как разделились: первую половину каждого перехода работаю я, а вторую он. Затем пишем каждый свой полевой дневник; так что работа идет легче и подробнее»².

Впоследствии часть коллекции горных пород, собранных во время второй Джунгарской экспедиции под руководством В. А. Обручева, послужила Михаилу Антоновичу материалом для его дипломной работы «Граниты Джаира».

В 1908 г. Михаил Антонович отлично защитил дипломный проект и получил звание горного инженера-геолога.

Учитывая блестящие способности М. А. Усова и достоинства представленной им работы, совет института по предложению В. А. Обручева оставляет его на кафедре для подготовки к научной деятельности. Много лет спустя Владимир Афанасьевич сказал по этому поводу, что вряд ли за всю долгую жизнь он еще раз сделал такой удачный выбор кандидата для подготовки к профессорской деятельности³.

В 1909 г. В. А. Обручев организывает третью экспедицию в Пограничную Джунгарию и приглашает М. А. Усова в качестве своего помощника. Михаил Антонович с благодарностью принял предложение учителя и наставника и блестяще выполнил всю порученную ему работу. В 1910 г. молодого инженера приглашают при-

² Личный архив В. А. Обручева в Москве. Письмо к жене от 03. VI 1906 г. Здесь и далее ссылки даются на письма из личного архива семьи Обручевых, предоставленные автору статьи внучкой В. А. Обручева Н. В. Обручевой.

³ Личный архив В. А. Обручева в Москве. Воспоминания.

нять участие в экспертизе золотых рудников Ачинского и Мариинского уездов ⁴.

Участие в работе многих экспедиций под руководством такого выдающегося ученого и исследователя, каким был В. А. Обручев, значительно обогатило навыки в практической работе в полевых условиях, расширило кругозор молодого геолога.

По итогам обработки коллекций горных пород, собранных в Джунгарии, Михаил Антонович пишет и публикует две работы: «Пограничная Джунгария. Описание горных пород» (напечатана в приложении к «Известиям Томского технологического института» за 1911 г. и «Федоровский, или универсально-оптический, метод исследования порообразующих минералов, в особенности полевых шпатов» (напечатана в «Известиях Томского технологического института» за 1911 г., т. 21. и 22).

М. А. Усов работает над подготовкой к сдаче магистерских экзаменов и защите диссертации. В этот период весьма плодотворной была его краткосрочная работа в Петербурге у известного ученого, впоследствии академика Ф. Ю. Левинсона-Лессинга. Занятия в лаборатории профессора значительно обогатили познания Михаила Антоновича в области петрографии.

В 1911 г. М. А. Усов приезжает в Киев, чтобы сдать магистерские экзамены в университете. Далекий и незнакомый город, чужие люди, совершенно новые порядки производят на него удручающее впечатление. Его одолевают сомнения в возможность сдачи экзаменов, чувствовал затруднения в распределении времени и силы для подготовки к ним. В сентябре 1911 г. он пишет в Томск В. А. Обручеву:

«Теперь я хотел бы попросить Вашего совета, дорогой Владимир Афанасьевич, относительно распределения испытаний; кроме того, не находите ли Вы нужным в интересах моего ближайшего будущего рискнуть мне быстрее сдачей экзаменов? Откровенно говоря, у меня нет ясного представления о том, что меня ожидает в этом ближайшем будущем, а жить и интенсивно работать при таких условиях довольно тяжело. Еще больше заботы делает мне, прямо-таки удручает мысль, что будет, если я экзаменов не выдержу. Когда держишь экзамены при родном учебном заведении, то, говорят, эта мысль никому в голову не приходит, потому что там все рассчитано, взве-

⁴ Отчет ТТИ за 1910 г.



М. А. Усов (первый ряд, крайний слева) среди выпускников Горного отделения Томского технологического института (1908 г.)

шено, заранее определено, а у меня случай будет играть большую роль. Впрочем, возможно, что мои переживания являются средством расстройств нервов, вызванного непривычными условиями жизни и работы в чужой среде и полным одиночеством. Во всяком случае, если бы Вы могли высказаться по этим интересующим меня вопросам, то я был бы Вам очень благодарен»⁵.

Владимир Афанасьевич ответил своему ученику теплым письмом, дал ряд полезных советов, приободрил его. Письмо учителя благотворно повлияло на молодого ученого, придало ему уверенность в своих силах. Он много занимается, дела идут у него успешно. В конце 1911 г. М. А. Усов пишет В. А. Обручеву:

«Вы были совершенно правы, когда писали, что едва ли обстоятельства так плохи, как они казались мне, и что по выдержании экзамена у Андрусова я должен получить уверенность в дальнейшем. В действительности я стал приобретать эту уверенность уже на второй месяц пребы-

⁵ Личный архив В. А. Обручева в Москве. Письмо М. А. Усова от 23.XI 1911 г.

вания своего в Киеве и решил даже назначить первый экзамен (по геологии и палеонтологии) на 15 ноября, т. е. на полмесяца ранее предполагавшегося. Я благодарен Вам, дорогой Владимир Афанасьевич, за Ваше любезное письмо, которое в значительной степени подняло мой дух»⁶.

Все месяцы пребывания М. А. Усова в Киеве он получает от Владимира Афанасьевича дружеские письма. Ученый морально поддерживает его, дает советы. В конце февраля 1912 г. Михаил Антонович пишет ему:

«Очень благодарен Вам за Ваше любезное письмо, полное непрестанных забот обо мне, и спешу ответить на него. Профессор Поленов из Казанского университета по вопросу защиты диссертации говорит, что я всегда могу рассчитывать на его возможное содействие в осуществлении моего желания — особенно как „ученик Владимира Афанасьевича, которого я глубоко уважаю как ученого, профессора и опытного руководителя“»⁷.

Сдав все магистерские экзамены, М. А. Усов возвращается в Томск в надежде работать над диссертацией под руководством своего учителя. Но случилось непредвиденное. В марте 1912 г. профессор В. А. Обручев был уволен из Томского технологического института за прогрессивный образ мыслей и соответствующие этому действия. Проработав 11 лет в институте, где он создал и возглавил горное отделение, Владимир Афанасьевич вынужден был все оставить и уехать из Томска. Он поселяется в Москве, но продолжает поддерживать тесные связи с родным ему институтом. Расстояние не помеха, он продолжает руководить научной деятельностью отделения. Все, что касается горного отделения института, предварительно согласовывается с Владимиром Афанасьевичем, а затем уже принимаются официальные решения. Переписка между В. А. Обручевым и Михаилом Антоновичем не ослабевает. Как и в студенческие годы, молодой ученый получает от учителя советы, рекомендации.

Вскоре после отъезда В. А. Обручева М. А. Усов, защитивший магистерскую диссертацию, получил кафедру на горном отделении ТТИ. Делая первые шаги на педагогическом поприще, он особенно нуждался в советах такого опытного педагога, каким был В. А. Обручев.

⁶ Личный архив В. А. Обручева. Письмо М. А. Усова от 11. XI 1911 г.

⁷ Личный архив В. А. Обручева. Письмо М. А. Усова от 28. II 1912 г.

В мае 1913 г. он пишет Владимиру Афанасьевичу в Москву:

«Очень благодарен за Ваше постоянное внимание ко мне; я еще не успел до сих пор отблагодарить Вас за все сделанное для меня»⁸.

Шли годы. Накапливались знания, приобретался опыт. Михаил Антонович Усов становится одним из ведущих геологов Сибири. К нему за консультацией обращаются представители многих предприятий и акционерных обществ. Михаил Антонович по главным вопросам советуется со своим учителем, подробно сообщает ему о своей деятельности.

Гражданская война на несколько лет прервала переписку. В начале 20-х годов она восстанавливается и продолжается до самой кончины Михаила Антоновича.

О том, что в Сибири было решено создать крупное металлургическое предприятие и уже практически приступили к решению целого ряда проблем, связанных с этим делом, Михаил Антонович писал В. А. Обручеву еще в начале 1926 г.:

«Сибкрайисполком для ускорения дела по организации Кузнецкого металлургического завода назначил особую комиссию — Тельбесбюро, имеющую своей целью сбор материалов и проведение текущим летом необходимых предварительных исследований для немедленного пуска в ход всего дела. Я попал в это бюро, и мне поручено проверить геолого-разведочную часть работы. Поручение это очень ответственное, и мне пришлось начать с просмотра ранее подготовленных материалов. Я успел их пока систематизировать и слегка с ними познакомиться».

Владимир Афанасьевич Обручев все годы внимательно следил за деятельностью Михаила Антоновича. Дружескими рекомендациями, рассуждениями по интересующему их вопросу полны были его письма. В них ученый касался не только области геологических исследований, но и научной и педагогической деятельности, когда М. А. Усов был уже профессором.

В 1915 г. Михаил Антонович обращается к своему учителю с просьбой посоветовать, какое направление избрать в своей научной работе. Владимир Афанасьевич рекомендует ему заняться физической геологией. На это М. А. Усов пишет:

⁸ Личный архив В. А. Обручева в Москве. Письмо М. А. Усова. Май 1913 г.

«Тема по физической геологии более отвечала бы и моему теперешнему положению и моей предварительной подготовке. Сама мысль заняться тектоникой явилась у меня как равнодействующая всех этих направлений. Я очень благодарен Вам за проявленную нравственную поддержку в моем начинании»⁹.

В декабре 1915 г. М. А. Усов сообщает Владимиру Афанасьевичу о том, что он избран ординарным профессором. Свое письмо он заканчивает словами: «Сделано то, о чем я мало даже мечтал, и если, как уже сказано выше, я выражаю большую признательность лицам, представившим меня к избранию, то в конечном счете еще больше должен я чувствовать обязанным по отношению к Вам, дорогой Владимир Афанасьевич»¹⁰. В этом же письме делает приписку: «Принимаю Ваше предложение быть сотрудником геологического отдела журнала „Природа“».

Владимир Афанасьевич Обручев высоко ценил способности и дарования М. А. Усова, его трудолюбие и организаторские способности. По его представлению в 1932 г. М. А. Усов был избран членом-корреспондентом, а в 1939 г. — академиком. По его рекомендации в 1938 г. Михаил Антонович был назначен директором Всесоюзного научно-исследовательского геологического института.

Владимир Афанасьевич опубликовал ряд статей и очерков, посвященных жизни и деятельности своего ученика, выдающегося ученого, педагога и исследователя недр Сибири — академика Михаила Антоновича Усова.

⁹ Личный архив В. А. Обручева. Письмо М. А. Усова от 1.IX 1915 г.

¹⁰ Личный архив В. А. Обручева. Письмо М. А. Усова. Декабрь 1915 г.

*Штрихи к портрету
(М. А. Усов в воспоминаниях
современников)*

А. Г. БАКИРОВ

ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ О М. А. УСОВЕ

В течение длительного времени я преподаю в высшем учебном заведении. Но всякий раз испытываю некоторое волнение, когда вхожу в 210 аудиторию первого корпуса Томского политехнического института.

50 лет тому назад, в 1933 г., мне, студенту первого курса Томского индустриального института, впервые на лекции по общей геологии, состоявшейся в этой аудитории, называвшейся раньше Большой горной, пришлось увидеть Михаила Антоновича Усова, а в дальнейшем и ближе с ним познакомиться. Я слушал у него общую геологию, геоморфологию и тектонику. По этим трем дисциплинам сдавал ему и экзамены.

Глубокое знание лекционного материала и свободное владение им, тщательная методическая продуманность его изложения, четкость формулировок с записями на доске, артистичность, внимательное и заинтересованное отношение к аудитории, эмоциональная приподнятость и увлеченность М. А. Усова своим предметом — все это оставляло неизгладимый след в наших молодых душах первокурсников, слушавших лекции Михаила Антоновича, завораживало нас, вызывало любовь к ученому и восхищение им. Он четко распределял лекционный материал по времени. Точно по звонку начинал лекцию и к звонку на перерыв заканчивал изложение определенной темы, не забегая вперед, не оставляя конец темы для следующей лекции. Михаил Антонович был предельно организован и требователен к себе. Точность и пунктуальность, умение ценить каждую минуту были возведены им в принцип. А отсюда, как следствие, требование от студентов, дипломников, инженеров-геологов и научных работников четкости, ясности и краткости в изложении фактического материала и в выводах. Он старался заинтересовать студентов научными исследованиями, приучал

к регулярной самостоятельной работе, учил трудолюбию.

Михаил Антонович был прекрасным методистом. Его кафедра общей геологии являлась образцовой по методической работе в институте. В 1937 г. он возглавлял комиссию по разработке учебных программ и планов для геологических вузов и специальностей нашей страны. К советам и мнениям его по части педагогики и методики преподавания геологических наук прислушивались маститые ученые.

М. А. Усов был и звездой первой величины на небосводе сибирской геологии в 20-е и 30-е годы нашего века. По общему признанию годы его деятельности стали целой эпохой в развитии геологической науки в Сибири.

Как ученый он сформировался под благотворным влиянием своего учителя — Владимира Афанасьевича Обручева. От него унаследовал энциклопедичность геологических знаний, интерес ко многим иностранным языкам, пристальное внимание к геологическим фактам, наблюдаемым в поле, комплексность в подходе к решению частных геологических задач, весь стиль работы ученого-натуралиста, умеющего широко и диалектично мыслить. Эти черты учителя были не только восприняты, но и творчески глубоко развиты Усовым, который на протяжении всей своей жизни не терял связи с Владимиром Афанасьевичем.

Михаил Антонович оставил значительный след во многих областях геологических знаний. Он всегда внимательно следил за всем новым, что появлялось в отечественной и иностранной литературе, чему способствовали его прекрасные знания иностранных языков. Можно отметить, на мой взгляд, четыре характерные особенности М. А. Усова как ученого. Во-первых, широкий кругозор, эрудированность в самых различных областях геологии; во-вторых, нестандартность мышления, смелость в постановке новых научных проблем; в-третьих, тесная связь его научных положений, взглядов с решением конкретных практических задач по развитию производительных сил Сибири и, в-четвертых, стремление с позиций диалектического материализма рассматривать геологические процессы, которые он изучал. Все эти качества М. А. Усов стремился привить своим ученикам и последователям.

Грандиозные планы развития производительных сил Сибири в 20-х и 30-х годах, в годы пятилеток служили М. А. Усову источником его творческого вдохновения, реализуемого в идеях, открытиях и изучении месторождений полезных ископаемых. Все это вносило важный

вклад в дело промышленного освоения необъятных просторов востока нашей Родины. В свою очередь, большой и оригинальный материал по геологии Сибири способствовал становлению М. А. Усова как ученого, благоприятствовал развитию его теоретических воззрений.

М. А. Усов олицетворял собой наглядный пример истинного патриота своей Родины, осуществившего свой творческий взлет в условиях социалистической действительности, которой он целиком отдавал свои знания, талант и опыт.

Михаил Антонович в обращении с людьми был вежлив и тактичен, внимателен к мнениям своих коллег. Он обладал замечательным человеческим качеством, кстати сказать, не так уж частым среди людей, — способностью к сопереживанию. На экзаменах он нескрываяемо радовался отличным ответам студентов. Но мрачнел, хмурился, когда экзаменуемые неправильно отвечали, и нервно подергивал кончики своих усов. Студенты знали эту его особенность и соответствующим образом ориентировали себя. Он был пунктуальным человеком не только на работе, но и в жизни, в быту. Вечерами он выходил на прогулку точно в 7 часов вечера. Можно было по нему сверять часы.

Ученый не замыкался в своей научной области. Он любил поэзию, музыку. Еще в гимназии он участвовал в хоре, был хорошим чтецом на литературных вечерах, играл на скрипке. Как-то один раз во время консультации нескольких студентов, среди которых был и я, Михаил Антонович признался в своей любви к стихам М. Ю. Лермонтова. Рассказал о том, что через его поэзию он полюбил природу, горы и профессию геолога. Михаил Антонович вместе со своей супругой регулярно ходил на концерты, организуемые университетом культуры при институте, и мы, студенты, старались брать пример со своего учителя, также приобщались к музыкальной культуре. Крупный ученый и организатор науки, талантливый педагог, популяризатор геологических знаний, воспитатель славной плеяды геологов сибирской школы, разносторонне образованный интеллигент высокой культуры, обаятельный человек, достойный подражания, — таким навсегда сохранится Михаил Антонович в памяти его благодарных учеников и последователей.

О МОЕМ УЧИТЕЛЕ

Мое знакомство с профессором М. А. Усовым охватывает лишь часть так называемого, по выражению В. А. Обручева, «Усовского периода» (1919—1938 гг.) в жизни Томского индустриального (ныне политехнического) института.

В числе небольшой группы студентов Московского геолого-разведочного института по распоряжению Главного управления учебных заведений Наркомтяжпрома СССР (ГУУЗа НКТП СССР) в конце 1933 г. я был переведен в Томский индустриальный институт. В Томск мы приехали после празднования 50-летнего юбилея М. А. Усова. Естественно, что студенты геолого-разведочного факультета были под впечатлением этих торжеств и много рассказывали нам об этом необычном профессоре.

Вскоре мы слушали его лекции по структурной геологии и геоморфологии с основами четвертичной геологии. Перед этим нас предупредили, что Михаил Антонович строг, весьма аккуратен, любит опрятность в одежде и с педантичной точностью начинает и кончает лекции. Поэтому на лекции М. А. Усова мы тщательно одевались, наглаживали брюки, чистили ботинки. Сам он всегда был безупречно одет в черный костюм-тройку, ослепительно белую накрахмаленную рубашку и обут в зеркально блестящие ботинки. Его квартира находилась в учебном корпусе, а рабочий кабинет рядом с аудиторией. На лекции он приходил ровно со звонком и не любил, чтобы студенты заходили вслед за ним. Завершал лекцию он обычно за несколько мгновений до звонка. На занятиях никогда не заглядывал на часы, но по нему можно было проверять время. Это — свидетельство о его тщательной и длительной подготовке к лекциям.

Лекции Михаил Антонович излагал весьма лаконично в виде четко сформулированных тезисов, успевая их записывать и сопровождать зарисовками на доске. Делал он это так быстро, что мы едва успевали записывать в тетради. Эти записи лекций он затем издал отдельными книгами, которые служили учебными пособиями для последующих поколений студентов и во многом не утратили своего значения до настоящего времени. Кстати, почти все свои работы М. А. Усов публиковал в Сибири — в Томске и Новосибирске.

На первой же лекции староста группы предупредил Михаила Антоновича о том, что в группе появились новенькие, прибывшие из Москвы. Мы все встали, он поздоровался с каждым и пригласил в первый же консультационный день к себе в рабочий кабинет. Беседуя с нами, он интересовался, как мы попали в Сибирь, намерены ли оставаться здесь и дальше, где каждый из нас работал на практике, какую подготовку и у кого прошли в Москве. Мы удивились тому, что Михаил Антонович знает интересы и увлечения каждого студента из группы геологов-съемщиков — он очень высоко ценил эту специальность.

На производственной практике возникало много вопросов, которые мы стремились разрешать в дни консультаций у Михаила Антоновича, так как в лекционные дни он не любил вопросов и не оставлял на них время. Он лично просматривал все отчеты студентов геологов-съемщиков по практике, карандашом на полях делал пометки, исправляя стилистические и, чего греха таить, грамматические ошибки. Видя слабое знание студентами русской грамматики, он для дипломников организовал специальные занятия, которые в течение зимы проходили при переполненной аудитории.

Михаил Антонович был очень чутким человеком по отношению к студентам. Несмотря на недостаточную грамотность, невысокий культурный уровень некоторых студентов того времени, он никого этим не обидел и не оскорбил, а, наоборот, старался им помочь. Вспоминается и такой случай. Во время дипломного проектирования тяжело заболела студентка, научным руководителем которой был М. А. Усов. Он немедленно организовал консилиум лучших врачей Томска, добился помещения ее в клинику медицинского института, обеспечил улучшение питания. Девушку удалось буквально вырвать у смерти. Несмотря на то, что она отстала в проектировании на несколько месяцев, Михаил Антонович пожертвовал отпуском и помог ей защитить диплом в том же году.

М. А. Усов первым на геолого-разведочном факультете начал чтение основ четвертичной геологии. До этого четвертичные отложения презрительно именовали наносами, осложняющими геокартирование и поиски; их даже не картировали. Его заслугой явилось приглашение профессора П. А. Православлева для геологического изучения разрезов четвертичных отложений в Кулундинском Приобье, ставших ныне опорными. Это Михаил Антонович организовал изучение четвертичных отложений и кост-

О МОЕМ УЧИТЕЛЕ

Мое знакомство с профессором М. А. Усовым охватывает лишь часть так называемого, по выражению В. А. Обручева, «Усовского периода» (1919—1938 гг.) в жизни Томского индустриального (ныне политехнического) института.

В числе небольшой группы студентов Московского геолого-разведочного института по распоряжению Главного управления учебных заведений Наркомтяжпрома СССР (ГУУЗа НКТП СССР) в конце 1933 г. я был переведен в Томский индустриальный институт. В Томск мы приехали после празднования 50-летнего юбилея М. А. Усова. Естественно, что студенты геолого-разведочного факультета были под впечатлением этих торжеств и много рассказывали нам об этом необычном профессоре.

Вскоре мы слушали его лекции по структурной геологии и геоморфологии с основами четвертичной геологии. Перед этим нас предупредили, что Михаил Антонович строг, весьма аккуратен, любит опрятность в одежде и с педантичной точностью начинает и кончает лекции. Поэтому на лекции М. А. Усова мы тщательно одевались, наглаживали брюки, чистили ботинки. Сам он всегда был безупречно одет в черный костюм-тройку, ослепительно белую накрахмаленную рубашку и обут в зеркально блестящие ботинки. Его квартира находилась в учебном корпусе, а рабочий кабинет рядом с аудиторией. На лекции он приходил ровно со звонком и не любил, чтобы студенты заходили вслед за ним. Завершал лекцию он обычно за несколько мгновений до звонка. На занятиях никогда не заглядывал на часы, но по нему можно было проверять время. Это — свидетельство о его тщательной и длительной подготовке к лекциям.

Лекции Михаил Антонович излагал весьма лаконично в виде четко сформулированных тезисов, успевая их записывать и сопровождать зарисовками на доске. Делал он это так быстро, что мы едва успевали записывать в тетради. Эти записи лекций он затем издал отдельными книгами, которые служили учебными пособиями для последующих поколений студентов и во многом не утратили своего значения до настоящего времени. Кстати, почти все свои работы М. А. Усов публиковал в Сибири — в Томске и Новосибирске.

На первой же лекции староста группы предупредил Михаила Антоновича о том, что в группе появились новенькие, прибывшие из Москвы. Мы все встали, он поздоровался с каждым и пригласил в первый же консультационный день к себе в рабочий кабинет. Беседуя с нами, он интересовался, как мы попали в Сибирь, намерены ли оставаться здесь и дальше, где каждый из нас работал на практике, какую подготовку и у кого прошли в Москве. Мы удивились тому, что Михаил Антонович знает интересы и увлечения каждого студента из группы геологов-съемщиков — он очень высоко ценил эту специальность.

На производственной практике возникало много вопросов, которые мы стремились разрешать в дни консультаций у Михаила Антоновича, так как в лекционные дни он не любил вопросов и не оставлял на них время. Он лично просматривал все отчеты студентов геологов-съемщиков по практике, карандашом на полях делал пометки, исправляя стилистические и, чего греха таить, грамматические ошибки. Видя слабое знание студентами русской грамматики, он для дипломников организовал специальные занятия, которые в течение зимы проходили при переполненной аудитории.

Михаил Антонович был очень чутким человеком по отношению к студентам. Несмотря на недостаточную грамотность, невысокий культурный уровень некоторых студентов того времени, он никого этим не обидел и не оскорбил, а, наоборот, старался им помочь. Вспоминается и такой случай. Во время дипломного проектирования тяжело заболела студентка, научным руководителем которой был М. А. Усов. Он немедленно организовал консилиум лучших врачей Томска, добился помещения ее в клинику медицинского института, обеспечил улучшение питания. Девушку удалось буквально вырвать у смерти. Несмотря на то, что она отстала в проектировании на несколько месяцев, Михаил Антонович пожертвовал отпуском и помог ей защитить диплом в том же году.

М. А. Усов первым на геолого-разведочном факультете начал чтение основ четвертичной геологии. До этого четвертичные отложения презрительно именовали наносами, осложняющими геокартирование и поиски; их даже не картировали. Его заслугой явилось приглашение профессора П. А. Православлева для геологического изучения разрезов четвертичных отложений в Кулундинском Приобье, ставших ныне опорными. Это Михаил Антонович организовал изучение четвертичных отложений и кост-

ных остатков млекопитающих в Омском Прииртышье крупным специалистом по палеонтологии плейстоценовых позвоночных В. И. Громовым, а в Приобье, Васюганье, Нарыме и Причулымье известным почвоведом-геологом Р. С. Ильиным.

По его инициативе Западно-Сибирским геолого-разведочным трестом было развернуто изучение четвертичного покрова Западно-Сибирской равнины: профессором М. И. Кучиным, доцентом К. В. Радугиным и молодыми тогда специалистами Е. В. Шумиловой, В. А. Николаевым, М. П. Нагорским, А. С. Егоровым, Е. И. Ивановой, Н. А. Боговаровым, А. И. Гусевым. Этими же исследователями были проведены и первые геоморфологические наблюдения в Западной Сибири. Они свелись в то время главным образом к описанию речных террас как форм рельефа, несущих большую информацию об истории четвертичного периода. В горных районах изучение четвертичных отложений под руководством М. А. Усова осуществляли А. М. Кузьмин, Б. Ф. Сперанский.

После окончания института и мне пришлось заниматься четвертичной геологией и геоморфологией Западной Сибири. Какгодились знания, заложенные М. А. Усовым, его книги и записи прочитанных им лекций.

Бывая в Томске, я всегда с большим благоговением склоняю голову перед памятником своего незабвенного учителя, продолжившего великое дело основоположника сибирской геологии В. А. Обручева, и создавшего, не смотря на короткую жизнь, томскую школу геологов.

Л. Д. СТАРОВЕРОВ

ОДИН ИЗ ОСНОВОПОЛОЖНИКОВ ШКОЛЫ СИБИРСКИХ ГЕОЛОГОВ

Я отношу себя к ученикам Михаила Антоновича Усова. От него я получил основы геологических знаний и поведения. Обучаясь на горном факультете Сибирского технологического института, а затем в Сибирском геолого-разведочном институте (СибГРИ), я долгое время находился под его непосредственным влиянием.

Наша группа, в которой были известные впоследствии разведчики Западной Сибири — А. В. Аксарин, И. Н. Зво-

нарев, А. Н. Вуколов, В. В. Станов и другие, относится к первому выпуску СибГРИ. В дальнейшем мы и многие другие съемщики, поисковики, разведчики, шахтные и рудничные геологи постоянно находились в поле внимания Михаила Антоновича.

Знакомство произошло осенью 1927 г. в большой аудитории Горного факультета, где Михаил Антонович провел с поступившими первую беседу. Она, по-видимому, не содержала ничего особенного, но благодаря импонирующей внешности профессора, четкой дикции и ясности мыслей, слушалась с большим вниманием. Был высказан основной принцип обучения — научить инженерно мыслить и что приобретение знаний на институте не кончается. Учиться придется всю жизнь. Были кратко перечислены наши задачи по всем предметам. Сказано также, что программа горняков по физике и математике и некоторым другим предметам будет читаться на одном уровне с механиками. И вот здесь прозвучали странные слова. Михаил Антонович сказал, что любит математику и всегда охотно ею занимался, имея завидные успехи, но в геологической практике ему за всю жизнь применить ее не удалось.

В 1929 г. Западно-Сибирское отделение Геолкома (ЗСОГК) преобразовалось в крупное Западно-Сибирское районное геологическое управление (ЗСГУ), и Михаил Антонович Усов стал руководителем-консультантом одной из крупнейших в стране геолого-разведочных организаций, ведавшей территорией от Урала до теперешней восточной границы Красноярского края. Одновременно он нес большую нагрузку как ведущий профессор СибГРИ и Томского университета, консультировал большинство промышленных предприятий и в первую очередь Кузбассуголь и Кузнецкстрой. Одновременно был активным членом крайисполкома и научно-общественных организаций.

Высокий, стройный, он имел удивительно приятное крупное выразительное лицо. Был очень благожелателен и всегда охотно пояснял «темные места», искренне недоумевал, что может быть неясного, например, в фазах и фациях эффузивов.

Михаил Антонович уважительно относился к сотрудникам, независимо от звания и занимаемого положения. В отчетах Геолкома указывал не только фамилии, но имя и отчество тех, кто выполнял работу, — от старших геологов до адъюнкт-геологов, машинисток, топографов, препараторов и т. д. Он не позволял себе снисходительно-пребрежительного обращения к подчиненным.

Слушать его лекции было интересно и легко благодаря ясности изложения; этому еще способствовал голос, удивительно приятного тембра. Лекции он читал так, что казалось, он видит то, о чем рассказывает: будь то геологическое событие или описание месторождения полезного ископаемого. При необходимости Михаил Антонович быстро и четко делал на доске мелом пояснительные рисунки. Помню, что даже сложные пространственные физико-химические диаграммы он рисовал с неменьшим искусством, чем их величайший знаток — профессор физикохимии Иван Иванович Котюков.

Характерно, что Михаил Антонович редко прибегал к излюбленному приему лекторов — предоставлению слушателям небольшого отдыха за счет рассказа забавного случая. В конце обучения в институте в связи с сокращением срока занятий увеличилось количество лекций, объемом читаемого материала. Некоторые лекции длились по 3—4 часа. Вот здесь мы полностью почувствовали талант Михаила Антоновича. Его лекции не утомляли, их легко было записывать и запоминать. Логический ход мысли лектора легко расчленился на части и законченные периоды.

Как Михаил Антонович готовил свои лекции, нам, студентам, конечно, не было известно. Об этом мы слышали от студентов, окончивших институт ранее, а позже узнали сами. Писал он без помарок, удивительно быстро — слова как бы сами рождались под его рукой. Не стеснялся он и размером фразы — при любой длине они читались легко, были логичны и понятны. В биографии ученого пишется, что дирекция Омской гимназии видела в нем будущего литературного деятеля. Литературный его талант нашел отражение и в лекциях для студентов, и в монографиях, статьях.

Михаилу Антоновичу была присуща удивительная точность и пунктуальность в расчете времени, что позволяло увеличивать «рабочую» нагрузку. Это было возможно в институте, но, как мы убедились позже, точный режим сохранялся и в производственной работе. Как правило, Михаил Антонович ежегодно обязательно принимал на консультацию полевых работников ЗСГУ, Редметразведки и др. Время приема всегда точно соблюдалось. Выдерживался и назначенный срок — полчаса или час. На приеме обязательно надо было иметь геологическую карту, разрезы к ней, штуфы и шлифы пород. Последние тут же просматривались под микроскопом.

Еще студентом, занимаясь обработкой полевых материалов, я имел возможность слышать и видеть, как Михаил Антонович консультирует. Он руководил отстройкой геологических разрезов для подсчета запасов Темир-Тау, петрографией и отсчетом в целом. Составление разрезов было сложным вследствие, во-первых, неправильной формы рудных штоков и, во-вторых, скважины в разное время задавались под разными азимутами. Нужно было иметь особенное пространственное воображение, чтобы принимать правильные решения. Все это Михаил Антонович делал с удовольствием. Было видно, что под консультацией он понимал собственную напряженную работу. За микроскопом он как бы отдыхал, последовательно характеризуя вслух минералы и их взаимоотношения.

Михаил Антонович обладал универсальными знаниями. Он был выдающимся петрографом, получив фундаментальные знания при обработке крупной коллекции, собранной в экспедиции с В. А. Обручевым в Пограничную Джунгарию; до сих пор появляются ссылки на эту работу. Пребывание в Петербургском университете в лаборатории крупного ученого Ф. И. Левинсона-Лессинга во время подготовки магистерской диссертации оставило неизгладимый след в его жизни.

Одним из первых среди геологов Михаил Антонович занялся угольной петрографией. В 1924 г. он писал: «Близко время, когда можно будет при одном взгляде на шлиф угля определить, какими свойствами этот уголь обладает и на что он пригоден... Уже появились лаборатории, победившие трудности изготовления микроскопических аншлифов и производящие соответствующие исследования. Думается, что при некоторой затрате средств можно было бы поставить это дело и хотя бы на кузнецких углях и выполнить работу, которая может иметь громадное практическое значение». Этой работой занялся, как известно, в Томском технологическом институте еще студентом И. И. Аммосов.

Хорошо знал Михаил Антонович геологическую съемку и топографию. Эти навыки и знания он приобрел в экспедициях под руководством В. А. Обручева в совершенно не освоенной топографами местности.

Он был квалифицированным палеонтологом, хорошо знал рудные и одновременно угольные месторождения, в частности Кузбасса. Ему принадлежат несколько работ по тектонике этого региона и вместе с тем капитальные работы по важнейшим шахтным полям Кузбасса. Данное обстоятельство ставит его в особое положение.

Михаил Антонович всячески поощрял разработку новых методик геологических наблюдений. При его содействии на высокий уровень были подняты в Западной Сибири литологические методы (Е. В. Шумилова, М. П. Нагорский). Вместе с Ростиславом Сергеевичем Ильиным он развивал и настойчиво внедрял в практику геоморфологические методы, составив даже специальный учебник и настаивая на введении в технологических институтах соответствующего курса. Он относил геоморфологические исследования к числу ведущих, особенно при поисках полезных ископаемых.

Необходимо отметить, что Михаил Антонович был отличным знатоком подземного картирования, занимаясь им в ранние годы с В. А. Обручевым и П. П. Гудковым на золотых рудниках Кузнецкого Алатау и в большей мере на шахтах и очистных работах Кузбасса. Он всегда считал, что правильному познанию геологии района в значительной мере могут помочь детальные геологические съемки шахтных и рудных полей.

В течение всей своей жизни Михаил Антонович придавал важное значение полезным ископаемым, считая их главным объектом геологического картирования. Еще при создании Сибирского Геолкома (1917—1920 гг.) он считал основной задачей будущей организации — составление геологической карты, на которой были бы выделены формации — геологические комплексы — с определенным набором полезных ископаемых. Этой проблеме посвящены многие его работы — «Полезные ископаемые Западной Сибири» (1934 г.) и «Фазы и циклы тектогенеза» (1936 г.). Характерно, что работы ближайших его учеников при проведении геологической съемки, как правило, были весьма результативны в отношении полезных ископаемых.

Особое место Михаил Антонович отводил знанию геологами технологии, добычи и обработки полезных ископаемых. Еще в 1931 г. он рекомендовал ввести для геологов-разведчиков курс обогащения полезных ископаемых. Эта рекомендация сохранила свое значение и в наше время.

М. А. Усов постоянно уделял внимание укомплектованию шахтной и рудничной службы специалистами-геологами.

При огромной научной, преподавательской, производственной нагрузке Михаил Антонович постоянно выступал с лекциями перед геологами-производственниками, иногда непосредственно в полевой обстановке.

Михаил Антонович формировался под влиянием таких крупных ученых, как Владимир Афанасьевич Обручев и Михаил Эрастович Янишевский. Он и сам оставил большую плеяду учеников, блестяще и по-своему продолживших развитие сибирской геологической науки.

Н. Н. УРВАНЦЕВ

МНОГОГРАННЫЙ УЧЕНЫЙ И ПРЕКРАСНЫЙ НАСТАВНИК

Впервые я увидел Михаила Антоновича Усова в сентябре 1912 г. на его лекции по физической геологии, курс которой он начал читать студентам горного отделения Томского технологического института вместо профессора Владимира Афанасьевича Обручева, уволенного царским министром Кассо за либерализм и сочувствие к студентам. Михаил Антонович выглядел еще совсем молодым человеком, почти студентом, как и мы, а не ассистентом такого всеми глубокоуважаемого человека, как Владимир Афанасьевич Обручев.

Читал Михаил Антонович лекцию увлеченно, иллюстрируя ее многочисленными диапозитивами, и я, захваченный картиной развития и формирования лика Земли, какую рисовал он в своей лекции, еще раз в душе решил отдать все свои силы познанию геологии, чтобы потом, окончив институт, в бескрайних просторах Сибири изучать ее недра, ее горные богатства для развития и процветания нашей страны.

С 1912 г. я стал неизменным посетителем горного корпуса. Владимир Афанасьевич Обручев лекций студентам уже не читал, и основная нагрузка легла на Михаила Антоновича. Приходится удивляться широчайшему диапазону его познаний, природному таланту лектора и искусству графически показать на доске схему или разрез фигуры. Все выглядело наглядно и образно. Кроме физической геологии у М. А. Усова я слушал курсы и проходил практику по палеонтологии, исторической геологии, геологии каустобиолитов, не считая эпизодических лекций по таким новым вопросам, как тектоника надвиговых шарьяжных перекрытий, проблемы генезиса нефти и т. п. И всегда это было ново, освещено пытливым умом

аналитика, знатока новейшей литературы по илагаемому вопросу. Меня привлекала геология рудных месторождений, дипломной работой руководил Михаил Антонович. Он передал мне для петрографической обработки комплекс магматических и метаморфических пород одного из золотоносных кварцевых месторождений Южных Саян с целью выяснения его генезиса. Несмотря на всю свою занятость (он, кроме всего, был деканом горного отделения), Михаил Антонович ежедневно хотя бы на полчаса заходил ко мне в петрографическую лабораторию, просматривал описываемые мною шлифы пород, задавал вопросы и нередко обращал мое внимание на такие детали взаимоотношений отдельных минералов в шлифе, которые позволяли судить о их генетических взаимоотношениях. Особенно это относилось к метаморфическим породам, где метаморфоз приводил к образованию разностей совершенно необычных, вплоть до мономинеральных, таких как альбитит. Много знаний и опыта почерпнуто было из этих бесед.

Летом 1917 г. Михаилу Антоновичу было поручено провести экспертный осмотр медных рудопроявлений в Минусинском крае (ныне Хакасия) с целью выяснения пригодности тех или иных пунктов оруденения для постановки там промышленной разведки. По литературным данным — съемкам Геологического Комитета (ныне ВСЕГЕИ МингеоСССР) и других, в крае было довольно много точек с медными рудопроявлениями, некоторые разрабатывались еще в бронзовом веке. В качестве своего помощника Михаил Антонович пригласил меня. Следовало разобраться прежде всего во всей массе литературного материала. Михаил Антонович поручил мне отправиться в библиотеки института и университета и подобрать всю литературу по интересующей нас проблеме. При этом он сказал, что знание литературы по изучаемому вопросу совершенно обязательно для геолога, выезжающего на полевые исследования: «Прежде чем выезжать в поле: надо знать, что до этого сделано, и критически оценить». Я собрал материал — отчеты съемок, геологические карты, описание путешествий. Мы внимательно его рассмотрели, Михаил Антонович критически оценил все данные и наметил план дальнейшей нашей деятельности на месте предстоящих работ. Меня поражала быстрота, с которой он схватывал суть дела, замечал недостатки отчетов и выделял главное, на что следует обратить внимание. Это была хорошая школа для меня.

В 1918 г. в результате вспыхнувшей гражданской войны некоторые геологи Петроградского геологического комитета оказались отрезанными от своего научного центра. Надо было их как-то организовать. В этом нуждались и молодые геологи, кончавшие в это время горное отделение Томского института. Поэтому на общем совещании было решено временно создать Сибирский Геологический Комитет для руководства всеми геолого-съёмочными и поисковыми работами, в которых так нуждалась Сибирь. На лето 1919 г. Сибгеолком запроектировал и снарядил геологические партии на Алтай, Саяны, Кузнецкий бассейн, Казахстан для изучения месторождений золота, меди, угля и других полезных ископаемых. Была отправлена небольшая партия Н. Урванцева на север, в устье Енисея, для поисков каменного угля для строящегося Усть-Енисейского порта. В 1920 г. после окончания гражданской войны в Сибири Сибгеолком, слившись с Центральным Петроградским геолкомом, стал его Сибирским отделением.

Среди многочисленных геолого-съёмочных и поисковых партий была и по продолжению исследований в устье Енисея. Ее коллективу было поручено изучение и предварительная разведка Норильского каменноугольного месторождения, поскольку работы предыдущего года показали, что Норильск наиболее перспективен как угольная сырьевая база для судов Севморпути. Кроме угля, который еще в прошлом столетии однажды использовался для морских судов, приходивших в устье Енисея, в Норильске было известно какое-то медное месторождение, из руд которого тоже в прошлом столетии было выплавлено, по данным Енисейского горного управления, до двухсот пудов черной меди. Оказалось, что там есть две небольшие штольни, в которых и добывалась руда. Осмотр их показал, что месторождение полностью выработано. В сохранившихся кое-где отвалах было видно, что руда представляла глинистые сланцы, пропитанные по трещиноватости углекислыми солями меди — малахитом и азурином. Данные наших с Михаилом Антоновичем исследований в 1917 г. в Минусинском крае убеждали, что и месторождение является вторичным, инфильтрационного типа, а коренное сульфидное должно лежать где-то поблизости. Действительно, при геологической съёмке на северо-восточной стороне горы, названной «Рудной», была обнаружена обширная залежь бурых железняков, так называемая «железная шляпа», обычно

залегающая на выветрелых головах сульфидных месторождений. Вскрытие шурфами подтвердило показания съемки. Были взяты образцы руд, отобраны пробы на анализы, образцы вмещающих горных пород. Это оказались темно-серые, крупнозернистые изверженные породы типа диабазы.

Обработку материала я выполнил в Томске в Сибирском отделении Геолкома под руководством Михаила Антоновича, который тогда был его директором. Он принимал самое активное участие в этой работе, просмотре шлифов. Вмещающими породами оказались оливиновые габбро-диабазы, а руды медно-никелевыми. Подобные руды в России ранее не встречались, и никаких литературных источников, естественно, не было. Михаил Антонович составил список иностранной литературы, касающейся подобных месторождений, и посоветовал, как следует ее проштудировать. В результате мы пришли к заключению, что новое месторождение «Норильск-1» является магматически ликвационным, и по типу оно ближе всего стоит к месторождению Садбери в Канаде.

При исследованиях на Севере я неоднократно обращался за советами и консультациями к Михаилу Антоновичу, крупнейшему геологу Сибири, всю свою жизнь посвятившему делу изучения и освоения горных богатств Сибири, и всегда получал от него обстоятельные ответы, которые во многом помогали мне в моей подчас нелегкой работе в этом суровом крае.

А. А. ЗАПОРОЖЧЕНКО

ИЗ АРХИВНОГО НАСЛЕДИЯ М. А. УСОВА

Изучение творческого и общественного пути наиболее выдающихся представителей советской науки важно не только для истории науки, которую они представляли. Это диктуется важностью исследования опыта рождения союза труда и науки. В исследованиях такого плана научные архивы — незаменимый источник. Знакомство с ними помогает воспроизвести реальный путь поисков, ощутить неповторимый колорит времени.

Долгие годы М. А. Усов был научным лидером сибирских геологов, являя собой пример или, по крайней мере для молодежи, модель советского ученого.

О М. А. Усове и его научном наследии написано много, но изучено оно еще недостаточно. Нет пока научной биографии ученого, в которой с максимальной полнотой получила бы отражение вся его многогранная деятельность. Для ее освещения представляется целесообразным изучение поистине огромного количества архивных материалов, оставленных М. А. Усовым.

Большая часть их хранится в его личном фонде в архиве Академии наук СССР (фонд 1525). Но это (за исключением дневников) в основном материалы, касающиеся собственно научной деятельности. Другие же стороны жизни и деятельности М. А. Усова наиболее ярко раскрываются через эпистолярное наследие, которое осталось в Сибири. В государственных и партийных архивах Томска, Новосибирска, Новокузнецка нами найдено значительное количество рукописных материалов Михаила Антоновича. Это документы о некоторых мало известных сторонах его деятельности как педагога, как зачинателя и организатора связи научной работы в вузе с практикой, как основателя и руководителя геологической службы в Сибири. Вопросы промышленного строительства и обеспеченность его сырьем, постановка и анализ научно-исследовательской работы в крае и ее роль в народном хозяйстве, организация горного дела и обогащения полезных ископаемых, экспертная работа по запросам партийных и хозяйственных органов — вот далеко не полный перечень тем и проблем, которые, наряду с теоретическими исследованиями, занимали ум и сердце ученого-патриота.

В предлагаемой работе мы обратимся только к одному фонду, который имеет, на наш взгляд, самое прямое отношение к исследованию феномена создания сибирской геологической школы. В механизме формирования особого научного стиля, характеризующегося тесной увязкой всей научной работы с практикой социалистического строительства, основная роль принадлежит методике обучения. Учебно-методическая работа в томских вузах не раз отмечалась как образцовая для своего времени, а в 1937 г. М. А. Усов возглавил комиссию по разработке учебных планов и программ высших геолого-разведочных учебных заведений страны. Это мы расцениваем как факт признания заслуги М. А. Усова в упорядочении учебного процесса и реорганизации геологического образования.

На задачи и вопросы преподавания геологических дисциплин отзывался он многократными статьями, докла-

дами и выступлениями перед студентами и преподавателями, используя в них свой опыт преподавателя и руководителя учебной части института. Самые интересные материалы по методике и организации учебного процесса в геологическом вузе сконцентрированы в кабинете-музее геолого-разведочного факультета Томского политехнического института (ТПИ).

По исторически сложившейся традиции кабинет любовно сохраняется в память об основателях факультета академиках В. А. Обручеве и М. А. Усове. В период подготовки к 100-летию юбилею в кабинете были разобраны и приведены в порядок все архивы. Фонд учебно-методических материалов, связанный с именем М. А. Усова, получил название «Уголок-музей М. А. Усова». В архивных папках кабинета-музея представлены конспекты и программы курсов лекций, прочитанных Михаилом Антоновичем, материалы по учебно-воспитательной и научно-исследовательской работе руководимых им кафедр.

Наиболее ярко характеризуют усовский стиль преподавания конспект доклада «Методы преподавания и характер отдельных видов занятий» (1933 г.) и «Работа с дипломантами» (1935 г.). Определяя лекцию как основной метод преподавания, Михаил Антонович подчеркивал необходимость изложения геологического материала в тесной связи «с вопросами методологии диалектического материализма... и с практикой коммунистического строительства»¹. Рекомендовал использовать в лекции не только данные русской и иностранной литературы, но и подкреплять их результатами собственных научно-исследовательских разработок. «Это, — считал он, — совершенно необходимо для поддержания в преподавателе научной инициативы».² Далее в конспекте дается методика подготовки лекций и ее проведение. «Разбить лекции на части по 10—15 минут, — советовал М. А. Усов, —... с обязательным фиксированием главных положений и выводов путем диктовки или лучше выписывания на доске»³.

В последующих частях конспекта подробно охарактеризована методика таких видов занятий, как семинары и лабораторные работы, экскурсий и работа научных и студенческих кружков, самоподготовка. Обращает на себя

¹ Уголок-музей М. А. Усова. Папка без номера.

² Там же.

³ Там же.

внимание такая интересная форма учебного процесса, как «академические консультации», которые широко практиковались в ТПИ в 20—30-е годы. Это не дополнительные лекционные часы, а «действительно консультации по отдельным теоретическим вопросам, поставленным студентами»⁴. Все рекомендации, данные М. А. Усовым, составлены с точным учетом бюджета свободного времени студентов и требований гигиены умственного труда.

Одновременно с грандиозностью и масштабностью задач, вставших перед геологией в послереволюционный период, возникла проблема недостаточности кадров. Особо остро она ощущалась в Сибири. Решение ее было найдено в широком привлечении к практической работе студентов. Их отчеты о полевых работах заслушивались на заседаниях кафедр или научно-технических советов, что давало возможность педагогическому персоналу быть в курсе всех геолого-разведочных работ в крае, а «студенты приобретали навыки оформления результатов своих наблюдений»⁵. Темы дипломных работ также связывались с практической деятельностью студентов в производственных организациях. Зачастую это изучение геологического строения того или иного района, в съемках которого студент принимал участие. В указаниях руководителям дипломных работ и студентам, данных М. А. Усовым, изложена подробная схема самого проекта от вступления до заключения, вплоть до количества знаков. Примечательно, что, идя по пути увязки учебной работы с практикой, М. А. Усов рекомендовал иметь в каждой дипломной работе «геолого-экономический очерк района» и «предусмотреть в нем еще выявление ареалов распространения различных полезных ископаемых, а также план и смету необходимых перспективных поисково-разведочных работ»⁶.

Вообще опыт работы М. А. Усова с дипломниками заслуживает самого пристального внимания. В фонде кабинета-музея он широко представлен материалами 1931—1935 гг. Здесь не только упомянутые нами методические пособия, но и тетради-отчеты о работе каждого студента, выполнявшего дипломный проект под руководством М. А. Усова. Из этих тетрадей видно, как тщательно готовился Михаил Антонович к обязательным

⁴ Там же.

⁵ Уголок-музей М. А. Усова. Папка № 17.

⁶ Там же.

дами и выступлениями перед студентами и преподавателями, используя в них свой опыт преподавателя и руководителя учебной части института. Самые интересные материалы по методике и организации учебного процесса в геологическом вузе сконцентрированы в кабинете-музее геолого-разведочного факультета Томского политехнического института (ТПИ).

По исторически сложившейся традиции кабинет любовно сохраняется в память об основателях факультета академиках В. А. Обручеве и М. А. Усове. В период подготовки к 100-летию юбилею в кабинете были разобраны и приведены в порядок все архивы. Фонд учебно-методических материалов, связанный с именем М. А. Усова, получил название «Уголок-музей М. А. Усова». В архивных папках кабинета-музея представлены конспекты и программы курсов лекций, прочитанных Михаилом Антоновичем, материалы по учебно-воспитательной и научно-исследовательской работе руководимых им кафедр.

Наиболее ярко характеризуют усовский стиль преподавания конспект доклада «Методы преподавания и характер отдельных видов занятий» (1933 г.) и «Работа с дипломантами» (1935 г.). Определяя лекцию как основной метод преподавания, Михаил Антонович подчеркивал необходимость изложения геологического материала в тесной связи «с вопросами методологии диалектического материализма... и с практикой коммунистического строительства»¹. Рекомендовал использовать в лекции не только данные русской и иностранной литературы, но и подкреплять их результатами собственных научно-исследовательских разработок. «Это, — считал он, — совершенно необходимо для поддержания в преподавателе научной инициативы».² Далее в конспекте дается методика подготовки лекций и ее проведение. «Разбить лекции на части по 10—15 минут, — советовал М. А. Усов, —... с обязательным фиксированием главных положений и выводов путем диктовки или лучше выписывания на доске»³.

В последующих частях конспекта подробно охарактеризована методика таких видов занятий, как семинары и лабораторные работы, экскурсий и работа научных и студенческих кружков, самоподготовка. Обращает на себя

¹ Уголок-музей М. А. Усова. Папка без номера.

² Там же.

³ Там же.

внимание такая интересная форма учебного процесса, как «академические консультации», которые широко практиковались в ГПИ в 20—30-е годы. Это не дополнительные лекционные часы, а «действительно консультации по отдельным теоретическим вопросам, поставленным студентами»⁴. Все рекомендации, данные М. А. Усовым, составлены с точным учетом бюджета свободного времени студентов и требований гигиены умственного труда.

Одновременно с грандиозностью и масштабностью задач, вставших перед геологией в послереволюционный период, возникла проблема недостаточности кадров. Особо остро она ощущалась в Сибири. Решение ее было найдено в широком привлечении к практической работе студентов. Их отчеты о полевых работах заслушивались на заседаниях кафедр или научно-технических советов, что давало возможность педагогическому персоналу быть в курсе всех геолого-разведочных работ в крае, а «студенты приобретали навыки оформления результатов своих наблюдений»⁵. Темы дипломных работ также связывались с практической деятельностью студентов в производственных организациях. Зачастую это изучение геологического строения того или иного района, в съемках которого студент принимал участие. В указаниях руководителям дипломных работ и студентам, данных М. А. Усовым, изложена подробная схема самого проекта от вступления до заключения, вплоть до количества знаков. Примечательно, что, идя по пути увязки учебной работы с практикой, М. А. Усов рекомендовал иметь в каждой дипломной работе «геолого-экономический очерк района» и «предусмотреть в нем еще выявление ареалов распространения различных полезных ископаемых, а также план и смету необходимых перспективных поисково-разведочных работ»⁶.

Вообще опыт работы М. А. Усова с дипломниками заслуживает самого пристального внимания. В фонде кабинета-музея он широко представлен материалами 1931—1935 гг. Здесь не только упомянутые нами методические пособия, но и тетради-отчеты о работе каждого студента, выполнявшего дипломный проект под руководством М. А. Усова. Из этих тетрадей видно, как тщательно готовился Михаил Антонович к обязательным

⁴ Там же.

⁵ Уголок-музей М. А. Усова. Папка № 17.

⁶ Там же.

индивидуальным консультациям студентов при выполнении курсовых и дипломных работ. О значении этих встреч рассказывается почти во всех воспоминаниях учеников и соратников М. А. Усова, в том числе и в публикуемых в настоящем сборнике. «Понимание связи науки с жизнью — вот качества, которые прививал М. А. Усов своим ученикам», — писал профессор В. А. Хахлов.⁷

Этому способствовала обстановка в томских вузах, где весь научно-педагогический персонал принимал участие в производственной работе по изучению Сибири. Сюда же стекались все новейшие материалы научных изысканий, что позволяло их быстро проверять последующими исследованиями, направлять коллективную научную мысль на решение общей задачи — создание собственной минерально-сырьевой базы для индустриализации Сибири.

⁷ Академик К. И. Сатпаев. Алма-Ата, 1965. 257 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Кузнецов Ю. А. Академик М. А. Усов — основоположник советской геологической школы в Сибири	5
Усов М. А. Законы физикохимии в применении к петрографии	15
Пинус Г. В. Вклад М. А. Усова в развитие магматической геологии	55
Белюсов А. Ф., Поляков Г. В. М. А. Усов и петрология магматических ассоциаций	64
Кортусов М. П., Ильенок С. С. М. А. Усов — основоположник учения о фациях и формациях магматических пород	72
Кузнецов Ю. А. , Шаранов В. Н. Развитие идей М. А. Усова в изучении магматических фаций глубинности и фаций тел изверженных горных пород	76
Кузнецов В. А. Черепнин В. К., Баженов В. И. Роль М. А. Усова в развитии рудной геологии Сибири	83
Радугин К. В. Проблемы развития учения М. А. Усова о диагенезе эффузивов	91
Росляков Н. А. Развитие идей М. А. Усова об элювиально-метатетических месторождениях (на примере золота)	95
Щербаков Ю. Г. Развитие геохимического аспекта представлений М. А. Усова о рудообразовании	101
Милановский Е. Е. Пульсационная гипотеза геотектоники, ее становление и значение для понимания закономерностей развития Земли	107
Казаринов В. П. Разработка гипотезы пульсационного развития Земли в трудах М. А. Усова и В. А. Обручева	142
Васильев Б. Д. Тектогенез сибиретипный	153
Казанский Ю. П. Идеи М. А. Усова о выветривании и их развитие в учении об осадочных породах	159

<i>Юзвицкий А. Э., Попов Ю. Н.</i> Труды М. А. Усова в области геологии угольных месторождений	165
<i>Николаев В. А.</i> Идеи М. А. Усова в геоморфологии и геологии четвертичных отложений	177
<i>Вдовин В. В.</i> М. А. Усов — основоположник изучения геоморфологии Сибири	190
<i>Лозовский И. Т.</i> М. А. Усов и В. А. Обручев	194
<i>Штрихи к портрету (М. А. Усов в воспоминаниях современников)</i>	
<i>Бакиров А. Г.</i> Из воспоминаний о М. А. Усове	203
<i>Вдовин В. В.</i> О моем учителе	206
<i>Староверов Л. Д.</i> Один из основоположников школы сибирских геологов	208
<i>Урванцев Н. Н.</i> Многогранный ученый и прекрасный наставник	213
<i>Запорожченко А. А.</i> Из архивного наследия М. А. Усова	216

**НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ М. А. УСОВА
И ЕГО РАЗВИТИЕ**

*(Очерки по истории
геологических знаний, вып. 23)*

Утверждено к печати
Институтом геологии
и геофизики СО АН СССР

Редактор издательства *Л. И. Шпаковская*
Художественный редактор *Е. Ф. Гришин*
Художник *Е. Ф. Зайцев*
Технический редактор *Л. П. Минеева*
Корректоры *И. А. Литвинова, В. Я. Плотников*

ИБ № 23531

Сдано в набор 11.03.84. Подписано к печати 24.10.84. МН-01570.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Обыкновенная
гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 11,8+1 вкл. на мел.
бум. Усл. кр.-отт. 12,2. Уч.-изд. л. 13,6. Тираж 1000 экз. За-
каз № 96. Цена 2 руб.

Издательство «Наука», Сибирское отделение.
630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука».
630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

2 руб.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ