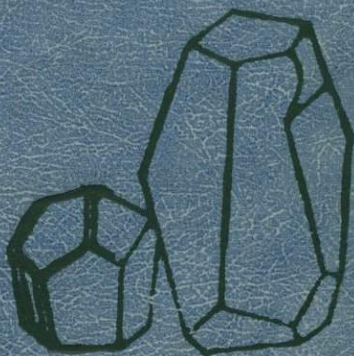


А.С. УКЛОНСКИЙ

ПРОБЛЕМЫ
МИНЕРАЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ



АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ им. Х. М. АБДУЛЛАЕВА

А. С. УКЛОНСКИЙ

ПРОБЛЕМЫ
МИНЕРАЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

3736



ТАШКЕНТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» УЗБЕКСКОЙ ССР
1982

Проблемы минералогии и геохимии. Избранные труды.

Уклонский А. С. Ташкент, Изд-во «Фан» УзССР, 1982.

В избранные труды включено около 30 научных статей А. С. Уклонского, в которых изложены наиболее интересные теоретические представления по различным проблемам минералогии и геохимии, не утратившие научного и практического значения до настоящего времени.

Для специалистов — геологов, минералогов и геохимиков, изучающих рудные и нерудные полезные ископаемые различных генетических типов.

*Ответственный редактор
докт. геол.-мин. наук С. Т. Бадалов*

СОДЕРЖАНИЕ

А. С. Уклонский — крупнейший минералог и геохимик Средней Азии 3

Проблемы геохимии

Геохимический очерк Узбекистана	8
Геохимическая классификация минералов земной коры	18
Парагенезис минералов и параэлементы	23
Изоморфные ряды В. И. Вернадского и параэлементы	30
К вопросу о геохимии эндогенных месторождений железа	33
Геохимическое значение параэлементов	43
Параэлементы редких щелочей	58
О геохимическом значении изобар	61
Изотонический парагенезис химических элементов	63
К геохимии самородной серы	66
Одна из основных задач геохимии — изучение концентрации вещества	72
О геохимической значимости параэлементов в минералах	75
Великий русский ученый В. И. Вернадский	77

Проблемы минералогии

Метахроматизм минералов	88
Минерал и кристалл	92
Диплоскоп — новый прибор для определения монокристаллов	96
Нефрит из Гавасая	98
Задачи минералогии и геохимии	100
Некоторые вопросы современной минералогии и геохимии	123
О сингенезисе и эпигенезисе минералов	136
Минералогические провинции Узбекистана	146
Новая минералогическая гипотеза образования Земли	158
Минералогия и геохимия в Узбекистане за 50 лет Советской власти	171
К вопросу о генезисе каолиновых и бентонитовых глин	190
К геохимии золота	195

У 20805—1851
М 355 (04)—82 41—82 1904020000

А. С. УКЛОНСКИЙ — КРУПНЕЙШИЙ МИНЕРАЛОГ И ГЕОХИМИК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Минералогия в Средней Азии зародилась еще в средние века нашей эры. Наиболее известная работа того времени — книга А. Р. Беруни «Минералогия», посвященная в основном драгоценным камням. За прошедшие после этого почти 1000 лет специальные работы по минералогии региона практически не проводились. Новая эпоха интенсивных минералогических исследований Средней Азии началась с 1920 г., когда по декрету В. И. Ленина в Ташкенте был организован Туркестанский государственный университет, в котором кафедру минералогии возглавлял профессор Александр Сергеевич Уклонский. Более чем за полвека А. С. Уклонским на кафедрах минералогии и геохимии университета и Ташкентского политехнического института подготовлены сотни специалистов по минералогии и геохимии рудных и нерудных полезных ископаемых Средней Азии и других регионов СССР.

А. С. Уклонский родился 5 ноября 1888 года в г. Гомеле. В 1901 г. семья переехала в г. Ташкент, где в 1908 г. он окончил гимназию и в том же году поступил на естественное отделение физико-математического факультета Московского университета.

В 1914 г. А. С. Уклонский заканчивает университет с дипломом первой степени и его оставляют для подготовки к профессорскому званию. В процессе обучения в аспирантуре он под руководством академика В. И. Вернадского проходит высшую школу минералогии и геохимии.

Как ученик В. И. Вернадского А. С. Уклонский развивал в Средней Азии минералого-геохимическое направление. Руководимые им кафедры в г. Ташкенте, в отличие от всех существующих, охватывали одновременно минералогию, геохимию и кристаллографию. Подготовка специалистов геологических кадров позволила постоянно расширять фронт поисковых, съемочных, геологоразведочных и научных исследований на всей территории Средней Азии. В результате на базе геологического факультета университета стали постепенно формироваться все геологические организации — Геологический комитет, созданный в 1926 г. при непосред-

ственном участии А. С. Уклонского, геологоразведочный факультет САИИ (позже СазПИ, а ныне ТашПИ), Институт геологии и геофизики Академии наук УзССР и др.

А. С. Уклонским проводились различные геологические экспедиции, экскурсии, разведочные работы на ряде месторождений флюорита (Аурахмат), мрамора (Газган), серы (Шорсу) и др.

В 1928 г. на III Всесоюзном съезде геологов А. С. Уклонский, сделал доклад на тему «Парагенезис серы и нефти». В 1940 г. под этим же названием была опубликована монография. Стройная научная картина природных взаимосвязей между нефтью и серой стала одной из важнейших предпосылок для поисков месторождений нефти по сере и, наоборот, по наличию признаков нефти — скоплений серы: где много серы, там мало нефти и, где много нефти, там мало серы. Это положение в настоящее время широко используют нефтяники всего мира.

Огромную работу выполнял А. С. Уклонский в годы Великой Отечественной войны по выявлению минерально-сырьевой базы для эвакуированных в Среднюю Азию заводов. При создании в 1943 г. Академии Наук Узбекской ССР А. С. Уклонский стал одним из первых ее действительных членов.

Работы А. С. Уклонского являются ценным вкладом в советскую геологическую науку. Опубликовано около 170 трудов А. С. Уклонского, в том числе две крупные монографии (учебник «Минералогия» и «Парагенезис серы и нефти», 1940).

Они охватывают многие проблемы гидрогеологии, гидрохимии, месторождений полезных ископаемых (рудных и нерудных), минералогии, геохимии, кристаллографии и др.

В избранные труды вошло около 30 публикаций А. С. Уклонского, которые расположены в хронологическом порядке. Одна из первых статей «К петрографии урочища Чимган» была опубликована в 1915 г. С 1916 г. начинают появляться работы, посвященные сере, из которых особого внимания заслуживает статья «Нам нужно иметь свою серу», в которой предсказывается наличие в России собственных месторождений серы. Это было в период первой мировой войны, когда Россия оказалась без собственной минерально-сырьевой базы. С 1920 по 1930 г. опубликованы работы, касающиеся месторождений флюорита (Бричмуллинское), радиевых руд, целестина, серы (Шорсу), а также природных вод различных районов Средней Азии. Все эти природные образования А. С. Уклонский рассматривает с позиций геохимии и минералогии, возможности их практического использования в народном хозяйстве.

С 1931 г. А. С. Уклонский начинает заниматься проблемой железных руд Средней Азии, которая не утратила актуальности до настоящего времени. С 1932 г. он занимается калийными солями Средней Азии, а также продолжает изучать месторождения серы и другие сырьевые ресурсы химической промышленности. Особенно плодотворными оказались 1937 и 1940 годы, когда впервые бы-

ли представлены обобщающие сводки по многим очень важным проблемам минералогии и геохимии — геохимический очерк Узбекистана, в котором выделены важнейшие геохимические узлы Узбекистана — Нижнеамударьинский, Кенимехско-Нуратинский, Ширабад-Кугитанский, Каратюбе-Мальгузарский, Ферганской долины, Карамазарский и Чирчикский. Впервые в виде тезисов (в 1937 г.), а затем в монографии (1940 г.) сформулированы основные положения проблемы парагенезиса серы и нефти, вопросы сингенетического образования самородной серы.

Значительным событием явилось опубликование в 1940 г. учебника «Минералогия», в котором все минералы впервые классифицировались по ведущему химическому элементу, описывались в классе того элемента, для которого данный минерал имеет наибольшее экономическое значение и, наконец, химические элементы располагались по признаку нахождения в земной коре промышленных скоплений минералов, содержащих данный элемент (от атмосферы и биосферы до центральных частей Земли).

А. С. Уклонского всегда интересовали новые методы исследования и приборы, которые позволяли установить необычные свойства минералов или их особенности. Некоторые из них предложены самим А. С. Уклонским: 1) метахроматизм минералов (1941 г.) — метод, позволяющий в инфракрасных лучах света быстро диагностировать большинство цветных минералов; 2) диплоскоп (1947 г.) — прибор для установления монокристаллов; 3) ртутные волюмометры (1940 г.) — простейшие приборы для определения объема зерна минерала или породы; и др.

Интересны определения А. С. Уклонским понятий минерал и кристалл, новый взгляд на их образование через протокристаллы (минимальное количество вещества в кристаллическом состоянии, существующее физически обособленно и обладающее всеми свойствами, присущими данному минеральному виду) и др.

А. С. Уклонский неоднократно возвращался к проблемам, которые на новом этапе получали иное толкование и по-другому объясняли всю совокупность новейшего фактического материала. Кроме серы и нефти, рудного и нерудного сырья его интересовали химические элементы семейства железа, принципы классификации химических элементов и минералов, проблемы параэлементов, изотонических и изобарических парагенезисов элементов, геологическое значение изотопов, значение перемещений вещества в породах и рудах и критериях их выявления, сингенезис и эпигенезис минералов, выявление новых минералогических гипотез образования Земли и др. На представлениях А. С. Уклонского о параэлементах (химические элементы, совместно образующие кристаллические структуры минералов) основано новое направление минералогии — геохимическая минералогия, которая занимается геохимией всех элементов, входящих в формулу минерала. Оно отличается от минералогической геохимии, которая занимается геохимией каждого отдельного элемента по всем минералам, в

которых он зафиксирован (от образования собственных минералов до вхождения в минералы в виде элементов-примесей). Изучение изотонических и изобарических парагенезисов химических элементов привело А. С. Уклонского к интересным представлениям о причинности естественных сочетаний элементов в породах и рудах. Следует отметить, что часть вопросов, затронутых в этой проблеме, осталась не решенной. Это позволяет в настоящее время рассматривать их и с других позиций.

Проблема геологического значения изотопов решалась А. С. Уклонским главным образом в отношении суммарного изотопного состава воды (не раздельно для кислорода и водорода), что широко использовалось для прогноза нефти, выявления источника самой воды (от ледниковой до морской). Многочисленные публикации по этим вопросам в 1965 г. обобщены в монографии «Изотопный состав вод Узбекистана» (в соавторстве с В. М. Глущенко и Л. П. Крайновой).

Большое значение придавал А. С. Уклонский перемещениям вещества в породах и рудах после их образования. На примере некоторых рудных районов показана роль этих процессов в изменении и преобразовании первоначального минерального состава, что в некоторых случаях отражалось на представлениях о генезисе этих объектов. Несомненно, учет процессов перемещений может иметь решающее значение в генетической интерпретации существующих в настоящее время минералов. На эти явления ранее особого внимания почти не обращалось, хотя отмечались отдельные случаи образования более поздних вторичных минералов.

Актуальна проблема выделения минералогических провинций (1962 г.). Так, для территории Узбекистана выделялось 10 минералогических провинций, которые почти полностью совпадали или перекрывали ранее им же выделенные геохимические узлы. Совпадение по площади геохимических узлов с минералогическими провинциями было вполне естественным, так как это свидетельствовало о существовании специализированных на отдельные элементы или их парагенные комплексы геохимических провинций, в которых при благоприятном сочетании рудообразующих факторов могли возникать соответствующие минералогические комплексы в виде локальных концентраций (месторождений).

Особо выделяются статьи, посвященные теоретическим проблемам минералогии и геохимии. Из них наиболее значительна «Задачи минералогии и геохимии» (1951 г.). Важнейшей задачей геохимии считалось изучение истории атомов в земной коре, т. е. геохимии отдельных элементов. В настоящее время становится очевидным, что геохимия отдельных элементов должна строиться на том, что каждый химический элемент обладает любыми геохимическими свойствами, присущими материи вообще. Из этого естественно вытекает положение о том, что основной причиной изменения геохимических свойств элементов являются природные физико-химические системы, в которых они оказываются. Этим

объясняется и тот факт, что никакого антагонизма между элементами в природных условиях нет и быть не может. По этой же причине число параэлементов каждого элемента с установлением новых минералов и их разновидностей увеличивается, так как открываются соединения с необычными, «запрещенными» ассоциациями химических элементов.

По мнению А. С. Уклонского (1966 г.), одной из основных задач геохимии является изучение концентрации вещества, что возможно при учете всего разнообразия геохимических свойств каждого элемента. Таким образом, следует ожидать, что для каждого элемента в природных условиях возможно разнообразие генетических типов этих концентраций, различающихся геохимическими свойствами элемента — от сидерофильного, литофильного, халькофильного и др. до атмофильного.

Из работ, посвященных геохимии отдельных элементов, необходимо отметить статьи А. С. Уклонского по геохимии серы и золота, в которых рассматриваются главным образом вопросы, касающиеся условий образования их природных концентраций.

А. С. Уклонский крупнейший геохимик и минералог Средней Азии. Всю жизнь он посвятил решению наиболее важных теоретических проблем, имеющих огромное практическое значение, поискам новых закономерностей распределения химических элементов и их минеральных парагенезисов в различных природных условиях. Венцом этих поисков является минералого-геохимическая теория о парагенезисе серы и нефти — одной из фундаментальных научных открытий XX века.

Большую помощь в подготовке научных трудов к изданию оказали ученики А. С. Уклонского — З. М. Протодьяконова, М. И. Исмаилов, М. Р. Еникеев, С. К. Смирнова, Т. С. Тимофеева, О. Н. Козлова и др.

С. Т. Бадалов

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ОЧЕРК УЗБЕКИСТАНА*

Узбекистан расположен в узле тектонических линий центральной части Средней Азии. Большая разница гипсометрических высот в пределах Средней Азии и в самом Узбекистане как результат крупнейших вертикальных смещений, дает возможность наблюдать разные срезы земной коры и, следовательно, минеральные тела, образовавшиеся в разных термодинамических условиях. Поэтому отсутствие месторождений полезных ископаемых в Узбекистане было бы ненормальным с точки зрения геохимии.

Зональность геохимических реакций в образовании тяжелых и легких химических элементов, идущая от магмы к поверхности земной коры в разные периоды истории Земли, наложение на этот процесс противоположного процесса — избирательного перемещения этих же элементов как в связи с выветриванием и отложением из водных растворов, так и в связи с жизнедеятельностью микро- и макроорганизмов — в вертикальном и горизонтальном направлениях, многократная повторяемость этих процессов, идущая до настоящего времени, — все это создает своеобразное геохимическое строение Узбекистана и отдельных районов. Пересечение этих геохимических процессов на протяжении геологической истории Узбекистана можно рассматривать как своеобразные геохимические узлы, в которых наиболее благоприятно сочетаются разнообразные полезные ископаемые.

Прежде чем описать эти геохимические узлы, необходимо вкратце остановиться на выявленных химических элементах Узбекистана. Приведем таблицу, по А. Е. Ферсману, периодической системы Менделеева (химические элементы, имеющиеся в Узбекистане и в сопредельных районах, в табл. 1 выделены).

При сопоставлении этой таблицы с таблицей А. Е. Ферсмана, которая демонстрировалась на III Всесоюзном съезде геологов в Ташкенте в 1928 г., наблюдается разница. За семь лет проделана огромная работа, в результате которой более подробно выяв-

* Опубликовано в кн. «Минеральные ресурсы Узбекской ССР», Ташкент, 1937.

лена геология Средней Азии и Узбекистана. Из всего комплекса 92 элементов остались не найденными немногие. Не ясен вопрос с таллом, рубидием (найден в воде Каспийского моря), цезием, скандием, гафнием, мазурием, ренийем и платино-рутениевой группой. Однако в образцах из Харангона были следы цезия, а в образцах золота по Пянджу — палладия. Среди основных пород как Южной Ферганы, так и Нуратинских гор возможно находже-

Таблица 1

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	-	
1	<u>H</u>								<u>He</u>	<u>Li</u>	<u>Be</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>Ne</u> <u>Fe</u>	2
3	<u>Na</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	<u>Ar</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Sc</u>	<u>Ti</u>	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Co</u> <u>Ni</u> <u>Ru</u>	4	
5	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ga</u>	<u>Ge</u>	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	<u>Kr</u>	<u>Rb</u>	<u>Sr</u>	<u>Y</u>	<u>Zr</u>	<u>Nb</u>	<u>Mo</u>	<u>Tc</u>	<u>Ph</u> <u>Pd</u> <u>Os</u> <u>Ir</u>	6	
7	<u>Ag</u>	<u>Cd</u>	<u>In</u>	<u>Sn</u>	<u>Sb</u>	<u>Te</u>	<u>J</u>	<u>Xe</u>	<u>Cs?</u>	<u>Ba</u>	<u>TR</u>	<u>Hf</u>	<u>Ta</u>	<u>W</u>	<u>Re</u>	<u>Pt</u>	8	
9	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	<u>Tl</u>	<u>Pb</u>	<u>Bi</u>	<u>Po</u>		<u>Rn</u>		<u>Ra</u>	<u>Ac</u>	<u>Th</u>	<u>Pa</u>	<u>U</u>			10	

ние платиново-палладиевого ряда элементов. Гафний, мазурий и рений как совершенно новые элементы не изучены, поэтому о них пока не приходится и говорить. Очевидно в недалеком будущем все известные нам химические элементы будут обнаружены в пределах Узбекистана.

Для понимания месторождений полезных ископаемых важно не только присутствие тех или иных химических элементов, но и

Таблица 2

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	-	
1	<u>H</u>								<u>He</u>	<u>Li</u>	<u>Be</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>Ne</u> <u>Fe</u>	2
3	<u>Na</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	<u>Ar</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Sc</u>	<u>Ti</u>	<u>V</u>	<u>Cr?</u>	<u>Mn</u>	<u>Co</u> <u>Ni</u> <u>Ru</u>	4	
5	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ga</u>	<u>Ge</u>	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	<u>Kr</u>	<u>Rb</u>	<u>Sr</u>	<u>Y</u>	<u>Zr</u>	<u>Nb?</u>	<u>Mo</u>	<u>Tc</u>	<u>Rh</u> <u>Rd</u>	6	
7	<u>Ag</u>	<u>Cd</u>	<u>In</u>	<u>Sn</u>	<u>Sb</u>	<u>Te</u>	<u>J</u>	<u>Xe</u>	<u>Cs</u>	<u>Ba</u>	<u>TR</u>	<u>Hf</u>	<u>Ta?</u>	<u>W</u>	<u>Re</u>	<u>Os</u> <u>Ir</u> <u>Pt</u>	8	
9	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	<u>Tl</u>	<u>Pb</u>	<u>Bi</u>	<u>Po</u>		<u>Rn</u>		<u>Ra</u>	<u>Ac?</u>	<u>Th</u>	<u>Pa?</u>	<u>U</u>			10	

их количество. Табл. 2 составлена по той же системе, что и табл. 1. Выделенные в ней элементы находятся на территории Узбекистана и сопредельных республик и имеют теоретическое значение. В табл. 2 допущены некоторые условности в определении границ практического значения того или иного элемента.

Проанализируем табл. 2. Нулевую группу — инертные газы — как специфическую рассматривать не будем.

Первая группа — нечетные ряды представлены полностью. Вызывает некоторое сомнение серебро, но, учитывая его в комплексе полиметаллов, можно считать, что оно имеет практическое значение. Четный ряд не дает цезия и рубидия. Однако возможности нахождения цезиевых и рубидиевых минералов имеются, особенно цезия. Вероятно, в дальнейшем среди пегматитовых минералов будут обнаружены петалит или кастор (поллукс содержит цезий, часто сопровождает кастор или петалит).

Вторая группа представлена всеми элементами, кроме кадмия. Однако практическое значение кадмия не исключено, так как он найден в виде кадмиевой обманки, т. е. для некоторых месторождений концентрация его может быть повышена до промышленных значений.

Промышленное значение третьей группы пока не выяснено. Алюминий известен в корунде, алунитах, глинах, колыпташе и отчасти в боксите.

Геохимические условия для образования латерита и боксита аналогичны для Узбекистана и Индии в мезозое (во время угленакпления рэт-лейас) и палеозое (девон, силур — ографиченные сланцы и палеозойские угли), поэтому мы вправе ожидать бокситы в связи с угленосной и графитоносной серией пород (Кенимехский район, Кугитанг, восточная часть Нуратинских гор, Мальгузар и др.).

Бор в промышленных количествах в Узбекистане пока не выявлен, однако можно утверждать, что он будет найден в ближайшее время в соленых озерах Узбекистана, так как боросодержащий минерал — турмалин — в достаточной степени развит в горах Узбекистана, следовательно, переотложенный бор в виде борацита или иных минералов должен быть обнаружен среди осадочных солей, например близ Бухарского оазиса. Что касается остальных элементов этой группы — галлия, индия, таллия, скандия, иттрия, редких земель и актиния, то нет данных утверждать, что и они не будут найдены в Узбекистане в промышленных количествах.

В четвертой группе табл. 2 отсутствуют германий, титан, цирконий, гафний и торий. Вопрос с германием остается не ясен не только для Узбекистана, но и для хорошо изученных районов Советского Союза и европейских стран. Цирконий и гафний, вероятно, в ближайшее время будут найдены в промышленных количествах в пегматитах Кара-тюбе, Нуратау, Мальгузаре и др.

В пятой группе нечетные ряды представлены полностью и только с фосфором положение не совсем определено: промышленное значение бирюзовых месторождений (как источников фосфорного сырья) еще не установлено, а месторождения фосфоритов и апатитов в Узбекистане пока не выявлены. Находки апати-

тов возможны в Туркестанском хребте и Мальгузаре, фосфоритов — в Таджикистане и Кара-Калпакии.

Четные ряды пятой группы пока не найдены, но эти элементы возможны в связи с пегматитами.

Шестой ряд в нечетных рядах представлен только серой; селен в следах найден в Шорсу. Промышленные месторождения селена, теллура возможны как среди сульфидных руд, так и месторождений самородной серы (селен).

Хром возможен в связи с основными породами Южной Ферганы и Нуратинских гор и известен в Кара-чингиле, в Султануиз-даге.

Четные ряды седьмой группы не представлены марганцем, мазурием и реннем; два последних новые редкие элементы, по-

Таблица 3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	-
1	<u>H</u>							<u>He</u>	<u>Li?</u>	<u>Be</u>	B?	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F?</u>	<u>Ne</u> Fe	2
3	<u>Na</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar	<u>K?</u>	<u>Ca</u>	Sc	Ti?	V?	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	Co? Ni? Ru?	4
5	<u>Cu</u>	Zn?	Ga	Ge	As?	Se?	Br?	Kr	Rb?	<u>Sr</u>	Y	Zr?	Nb?	Mo?	Ms	Rh? Pd?	6
7	Ag	Cd?	In	Sn?	Sb?	Te	I?	Xe	Cs?	Ba?	TR?	Hf	Ta?	W?	Re	Os? Ir? Pt?	8
9	<u>Au</u>	Hg?	Tl	Pb?	Bi?	Po		Nt		Ra?	Ac	Th	Pa	U?			10

этому вопрос о них остается открытым. Марганец возможен не только в минералогических количествах, но и в практических, так как среди туфогенной толщи и контактов изверженных пород часто наблюдаются большие количества выделений родохрозита.

Восьмая группа не представлена платиново-палладиевым рядом, но эти элементы возможны в связи с основными породами.

Как отмечено выше, геохимические узлы Узбекистана представляют собой геологический комплекс, в котором на явления одного типа накладываются явления другого; так на минералообразовательные процессы, связанные с магматическим циклом, накладываются минералообразовательные процессы пустыни или прибрежно-морских отложений. По этому виду явлений Узбекистан можно предварительно и условно разделить на следующие геохимические узлы.

Н и ж н е а м у д а р ь и н с к и й — Хорезм, где с одной стороны древние горы Султануиз-дага с минеральным комплексом и с другой — третично-меловая толща с серой, нефтью, солью и современные пустыни. Этот район пока можно характеризовать химическими элементами, которые представлены в табл. 3.

Подчеркнутые элементы — известные в этом районе, под вопросом — возможные. К этому узлу относятся Северные Каракумы и Юго-Западные Кызылкумы (табл. 3).

Кенимехско-Нуратинский (Кульджуктау-Нуратинский) узел, один из самых интересных геохимических узлов нашей республики, в котором, вероятно, будут открыты все химические элементы. В частности, золото здесь известно давно (старинные работы у Алтынгазган — южный склон Ак-тау). Имеются указания на киноварь, аурипигмент, ляпис-лазурь, платину и пр. Последние минералы пока еще не найдены в данном геохимиче-

Таблица 4

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	—	
1	<u>H</u>								He	Li	Be	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	F	<u>Ne</u> <u>Fe</u>	2
3	<u>Na</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Sc</u>	<u>Ti</u>	<u>V</u>	<u>Cr</u>	Mn	<u>Co</u> <u>Ni</u> <u>Ru</u>	4	
5	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ca</u>	<u>Ge</u>	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	Kr	Rb	<u>Sr</u>	Y	<u>Zr</u>	<u>Nb</u>	<u>Mo</u>	Ms	Rh Pd Os Ir	6	
7	<u>Ag</u>	Cd	In	Sn	<u>Sb</u>	Te	I	Xe	Cs	<u>Ba</u>	<u>TR</u>	Hf	<u>Ta</u>	<u>W</u>	Re	Pt	8	
9	<u>Au</u>	Hg	Tl	Pb	Bi	Po		Nt		<u>Ra</u>	<u>Ac</u>	Th	Pa	<u>U</u>			10	

ском узле, но, вероятно, будут обнаружены в ближайшее время. Гаждинский район с серой в ближайшее время даст нефть. В скрытых куполах, вероятно, будут найдены соль, ангидрит, сера и нефть. Существующие соленые озера, возможно «шляпы» этих куполов (табл. 4).

Таким образом, кроме осадочных минералов — серы, нефти и соли в этом районе в связи с изверженными породами, кроме выявленных молибдена, вольфрама, золота, мышьяка, железа, будут обнаружены висмут, олово, уран, ртуть, сурьма и пр.

Ширабад-Кугитангский, или Сурхан-дарья — Кашкардарьинский геохимический узел — менее изученный, но многообещающий район. Он характеризуется развитием, с одной стороны, третично-меловой толщи с серой, нефтью и самородной медью, где возможны коллоидальные глины, целестин, квасцы, с другой — юра-триас с угленосной толщей, где возможны бокситы, сидериты и бурые железняки. В палеозое как Кугитанга, так и Гиссарского хребта возможны полиметаллы, ртуть, а также редкие металлы — вольфрам, олово и др. (табл. 5).

Каратюбе — Мальгузар, или Самаркандский район включает горы Каратюбе и северную часть Карнабчула, бассейны рек Санзар и Зааминсу. В этом техническом узле более развиты палеозойские метаморфизованные и изверженные породы, а в Карнабчуле — нормальные осадочные с углем, нефтью и серой. Для гор

Каратюбе известно олово. В бассейнах рек Санзар и Заамин, кроме графита и корунда, возможны месторождения бокситов (табл. 6).

Геохимический узел Ферганской долины можно объединить в одну единицу, так как эта часть территории Узбекистана, за не-

Таблица 5

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	-
1	<u>H</u>							<u>He</u>	<u>Li</u>	<u>Be</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	Ne Fe	2
3	<u>Na</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	Si	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Sc</u>	Ti	<u>V</u>	Cr	<u>Mn?</u>	Co Ni Ru	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	<u>Sr</u>	Y	Zr	Nb	Mo	Ms	Rh Pd Os Ir	6
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	<u>Ba</u>	TR	Hf	Ta	<u>W</u>	Re	Pt	8
9	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	Tl	<u>Pb</u>	Bi	Po		Nt		<u>Ra</u>	Ac	Th	Pa	<u>U</u>			10

которым исключением (Шахимардан), находится в пониженной части долины, где развиты современные отложения — третично-меловая толща, отчасти юра-триас и палеозойские породы. С юга к этому узлу примыкает Памиро-Алайский геохимический узел,

Таблица 6

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	<u>H</u>							<u>He</u>	<u>Li</u>	<u>Be</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	Ne Fe	2
3	<u>Na</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	Si	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Sc</u>	Ti	<u>V</u>	Cr	<u>Mn?</u>	Co Ni Ru	4
5	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	<u>Sr</u>	Y	Zr?	Nb	Mo	Ms	Rh Pd	6
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	<u>Ba</u>	TR	Hf	Ta?		W Re	Os Ir Pt	8
9	<u>Au</u>	Hg	Tl	<u>Pb</u>	Bi	Po		<u>Nt</u>		<u>Ra</u>	<u>Ac</u>	<u>Th</u>	<u>Pa</u>		<u>U</u>		10

а с севера — Тяньшаньский, в котором можно выделить Карамарзский. Последний более правильно назвать Кураминско-Могол-тауским.

Для характеристики можно привести данные по исследованному небольшому пункту узла Ферганской долины — Шор-су. В табл. 7 даны только те элементы, которые найдены здесь.

Если к этому присоединить Наукат с его медистыми песчаниками, Лякан с полиметаллами, Кан, Шуран и пр., то в геохимическом узле Ферганской долины следует учитывать следующие элементы: медь, серебро, золото, цинк, кадмий, ртуть, свинец, германий (Кан-и-гут), сурьма, фтор, никель и кобальт.

Карамазарский, или Кураминско-моголтауский геохимический узел с прилегающими к нему Бардымкульским соляным районом наиболее изучен. Однако, необходимо отметить, что более под-

Таблица 7

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	H							He?					C	N	0		2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar?	K	Ca			Ti	V		Mn	Fe
5					As	Se	Br?	Kr?		Sr							4
7							J	Xe?		Ba							6
9								Nt?		Ra							8
																	10

робно изучены Таджикская часть Кара-мазара, северные склоны Кураминского хребта — в меньшей степени (табл. 8).

Таблица 8

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	H							He	Li	Be?	B	C	N	O	F	Ne Fe	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co Ni Ru	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ms	Rh Pd Os Ir	6
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Pt	8
9	Au	Hg?	Tl	Pb	Bi	Po		Nt		Ra	Ac	Th	Pa	U			10

Заметно отсутствие некоторых элементов, теоретически возможных для Карамазара, например для первой группы — лития,

Таблица 9

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	H							He	Li?	Be	B	C	N	O	F	Ne Fe	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co Ni Ru	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ms	Rh Pd Os Ir	6
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Pt	8
9	Au	Hg?	Th	Pb	Bi	Po		Nt		Ra	Ac	Th	Pa	U			10

для второй — бериллия (есть указания на Могол-тау) и ртути. В особенности странно отсутствие ртути, хотя местные жители иногда упоминают о киновари из Моголтау.

Чирчикский или Ташкентский геохимический узел, несмотря на близость к культурному центру Узбекистана — Ташкенту, он недостаточно изучен. Пока для него известны химические элементы, которые представлены в табл. 9. Для этого района отмечается хлор, но в промышленных количествах он здесь не обнаружен. Под вопросом также ртуть (автор видел образцы киновари из Санталаша) и литий. Имеются пока не проверенные данные о присутствии лития в акташском колыпташе.

Рассмотрим химические элементы, которые имеют в Узбекистане промышленное значение.

ДРАГОЦЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ

К первой группе относятся золото и серебро и восьмой платиновый ряд. Как было сказано, платиновые минералы возможны в трех районах — Султан-уиз-даге, Нуратинских горах и Южной Фергане. Наиболее перспективен район Султан-уиз-дага с возможным скоплением платины. Основные породы встречаются и в ряде других пунктов Средней Азии, но мы их не указываем, так как они более удалены от территории Узбекистана.

Золото в республике и в граничащих с ней областях зарегистрировано в 14 пунктах.

По-видимому, оно приурочено к варисцийским интрузиям как собственно гранитов, так и полуглубинных порфитов, где встречается в пиритизированных зонах. В гранитах золото встречается в жильных породах, рассекающих сланцы. Необходимо отметить и так называемые бирюзовые месторождения, содержащие, по-видимому, золото. Почти все геохимические узлы за исключением Ферганского, заслуживают особого внимания как золотосодержащие районы с учетом неопробованных пиритизированных зон. Местные названия — Санзар, Зеравшан, Алтын-топкан, Алтын-газган, Алтын-бель и т. п., вероятно, относятся к местам прежней добычи золота. Поэтому нет никаких геохимических предпосылок допускать, что Узбекистан незолотоносен.

Серебро обычно рассматривают с полиметаллами.

РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

Висмут зарегистрирован в семи пунктах. Интересны находки его в 1935 г. на горе Минбулак. Они указывают не только на то, что Чирчикский и Кураминский узлы висмутосодержащие, но и на то, что висмут в ближайшее время будет найден и в других узлах, в частности, в Нуратинском районе, так как розовые граниты тех или иных районов, вероятно, одного и того же первоначального магматического очага.

Молибден зарегистрирован в 8 пунктах. В 1935 г. найден только в районе курорта Чимган, что указывает на слабую изученность в этом отношении Узбекистана и прилегающих районов

сопредельных республик. Учитывая насыщенность молибденом розовых гранитов можно говорить, что в соответствующих структурных условиях будут обнаружены богатые молибденовые месторождения.

Вольфрам найден в десяти пунктах, причем Нуратинские шеелитовые месторождения заслуживают внимания и на перспективу.

Олово зарегистрировано в 18 пунктах, последняя находка относится к 1935 г. в районе курорта Чимган (0,055% Sn). Оно генетически связано с розовыми гранитами. Вероятно, в ближайшее время олово будет найдено и в более доступных местах, причем в больших количествах, если учесть структурные особенности гранитных куполов и прилегающих к ним сланцев.

Сурьма, мышьяк, ртуть известны в Ферганской сурьмяно-ртутной полосе. Нахождение киновари в Копетдаге (Караелчи и Куршурли), Северном Иране и Северном Афганистане в связи с Альпийской складчатостью заставляет предполагать, что в Узбекистане будут найдены новые месторождения ртути, сурьмы, мышьяка в молодых отложениях. Прежние находки ртути (киновари) по Таласу, Санталашу, Урдабаши и др. нуждаются в проверке. Эти факты свидетельствуют о том, что Узбекистан перспективен в этом отношении.

Медь обнаружена более чем в 116 пунктах, что характеризует Среднюю Азию, в частности Узбекистан, как своеобразную медную провинцию. Кроме меднопорфировых руд возможны и другого типа крупные скопления меди, связанные с выделением ее из гранитов варисцийской интрузии. В осадочных породах (медистые песчаники) она связана с проявлением нефтеносности, поэтому особый интерес представляет Кугитангский и Нуратинский узлы.

Полиметаллы отмечены в 47—50 точках, т. е. значительно меньше, чем медь. Однако, если учесть, что олово, вольфрам, молибден и др. обычно находятся ближе к магматическому очагу (причем эти редкие металлы встречаются в значительных количествах), а группа сурьма, мышьяк, ртуть залегает на периферии магматических концентров, то мало понятно, почему промежуточные этапы — полиметаллы — недостаточно развиты, в то время как медь доминирует. Если важно с большой осторожностью говорить о геохимической замене цинка медью, то нельзя говорить о замене свинца медью. Можно лишь допустить радиоактивный распад и как конечный продукт распада рассеянный свинец, что, вероятно, и имеет место, с одной стороны, а с другой — обычный свинец может быть найден в больших количествах, чем теперь.

Железо мало изучено по ряду причин. Крупные месторождения этого металла пока не обнаружены, но можно отметить, что сидерито-гематитовая свита, связанная с угленосной толщей Кугитанга и др., даст продуктивные запасы, а детальное изучение контактовых зон выявит большие запасы магнетито-гематитов.

Алюминий в виде боксита найден в пограничном районе Южной Ферганы. По аналогии с угленосной толщей Узбекистана и Индии, где в Читрале имеются бокситы, следует считать, что особый интерес представляют Байсуунские месторождения углей. Кроме того, возможны скопления бокситов с ографиченными породами и палеозойскими углями. Особый тип бокситов найден в связи с метаморфизацией бывших в палеозое месторождений серы. В результате окисления серы образуется серная кислота, которая дает квасцы, купоросы и алуниты; последние при частичной метаморфизации перейдут в бокситы, при полной — в корунд. Некоторые корундовые залежи, встречающиеся вдоль северного склона Туркестанского хребта, возможно являются метаморфизованными алунитами бывших серных месторождений. Основная масса корундовых месторождений Нуратинского хребта и все месторождения Ак-таша имеют другой способ образования и связаны с пегматито-пневматолитовой фазой. Нельзя определять запасы корунда так, как они определены по Нура-тау, где не дается подсчет запасов на глубину, а приводится лишь замер видимого на поверхности гнезда, что уменьшает запасы в 1000 раз.

В Узбекистане и в прилегающих районах сопредельных республик разведываются и разрабатываются радиевые месторождения.

3730
Большое количество месторождений фтора — Аурахмат, Агата, Хайдаркан, Такоб и др., свидетельствует о богатстве палеозойской магмы летучими веществами, на что указывает присутствие висмута, молибдена, олова, вольфрама и пр. Возможно скопление фтора — пневматолитовое и гидrolитное — имеют большее распространение, чем это было известно до сих пор.

Комплекс — соль, сера, нефть в Узбекистане представлен в достаточном количестве. Необходимо только отметить, что исследователи этих полезных ископаемых слишком робкими шагами идут от известного к неизвестному. А между тем, сегодня можно утверждать, что во всех геохимических узлах, в меньшей степени в Чирчикском, этот комплекс существует. Район от Ходжа-Мумын на Пяндже по Аму-дарье до Аральского моря представляет собой арену соляных куполов с нефтью и серой; то же можно сказать о долине Ферганы с Голодной степью.

Иначе говоря, широкие межгорные долины — это огромный резерв химической энергии, пока скрытой на значительной глубине. Большинство соляных озер и крупных солонцов являются шляпами соляных месторождений, с которыми связаны нефть и сера. Поэтому Узбекистан считается одной из перспективных республик на нефть, серу, соль, целестин, гипс, медистые песчаники и др. парагенетические спутники нефти.

Уголь зарегистрирован в 45 пунктах Узбекистана и сопредельных районов. Геохимические условия здесь благоприятны для накопления органической массы угля в юрский и триасовый периоды, поэтому естественно открытые месторождения представляют

собой только меньшую часть запасов Средней Азии. Необходимо подчеркнуть, что большинство известных месторождений каменного угля находится вне пределов Узбекистана, а скрытых — на его территории.

Следует отметить, что графит в основном продукт метаморфизации углей и месторождений битумов. В этом отношении Узбекистан наиболее богат.

На территории республики пока обнаружена небольшая часть полезных ископаемых, залегающая на поверхности или близ нее, главная же масса полезных ископаемых еще не открыта, но она существует в ее недрах.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ*

Минералогия — одна из самых древних наук со сложившимися традициями. Более ста лет назад американцем Джемсом Дана была предложена классификация минералов по типу химических соединений, завоевавшая прочное положение в мировой науке. Попытки изменить ее или предложить классификацию иного типа встречали резкие возражения.

Предложенная нами в 1940 г. новая геохимическая классификация минералов по ведущим химическим элементам некоторыми критиками рассматривалась как псевдонаучная. Даже в 1949 г. в Ташкенте на дискуссии по геологическим наукам раздавались голоса сторонников этой точки зрения, что классификация автора не научная.

Современные продолжатели минералогии Дана сами начали подрывать основы классификации, построенной по типу химических соединений, так как принимали во внимание не только тип химических соединений, но и кристаллохимический признак, т. е. тип пространственной решетки. Это, например, делается Ч. Пэлачем, Г. Берманом, К. Фронделем (1), Г. Штрунцем (4), Н. А. Смольяниновым (3), который придерживается классификации Штрунца.

В классификации минералов происходит перестройка, причем от собственно химической классификации по типу химических соединений переходят к кристаллохимической. Таким образом, форма — интимная структура кристалла — начинает играть первенствующую роль, а само вещество отходит на задний план.

В обновленной классификации Дана карбонат магния и гидрокси алюминия — гидроталькит $Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ попадает в сложные окислы, а не в карбонаты, а у американских авторов простой окисел кремния — кварц теперь начинает рассматриваться в силикатах.

* Опубликовано в ДАН УзССР, 1949, № 8, с. 15—20.

Появляется группа талька $Mg_3(OH)_2[Si_4O_{10}]$ и пирофиллита $Al_2(OH)_2[Si_4O_{10}]$ листовой структуры. Считается, что возможен простой замен $3Mg$ на $2Al$ при сохранении той же структуры. Таким образом, само вещество магния и алюминия исчезло, осталась лишь листовая структура, в которой в определенные места, где должны находиться катионы, помещаются вместо двух «шариков» алюминия три «шарика» магния.

При таком формальном подходе исчезает всякое представление о веществе и его развитии. Теперь мы знаем, что в геологической истории земли одни элементы исчезали, а другие появлялись. Минералы образуются из элементов и в разных термодинамических условиях земной коры одни и те же элементы могут давать разные минералы, т. е. входить в пространственные решетки различного типа, поэтому основой является само вещество — химический элемент, а не тип химического соединения или тип пространственной решетки. Это значит, что современная классификация минералов должна базироваться не на метафизическом представлении о минерале, оторванном от природы, а в связи с ней, т. е. классификация должна быть геохимической.

В 1940 г. в учебнике «Минералогия» (4) дана новая классификация минералов по ведущим химическим элементам. Основные ее положения были следующие:

а) минералы группируются по химическим элементам, т. е. подразделяются на минералы железа, серы, углерода, свинца, меди и т. п. При этом положении часть минералов многократно повторяется;

б) минералы подробно описываются в классе того элемента, для которого они имеют наибольшее экономическое значение: например, свинцовый блеск описывается подробно в группе свинцовых минералов, а в группе минералов серы он только упоминается;

в) химические элементы располагаются по признаку нахождения в земной коре промышленных скоплений минералов, содержащих данный элемент.

В основу предлагаемой автором (4) классификации положен геохимический принцип. В ней последовательно рассматриваются минералы всех химических элементов, слагающих доступные наблюдению оболочки земного шара.

После выхода книги она была подвергнута критике. Учитывая все замечания, автор существенно переделал классификацию и в настоящее время предлагает ее в измененном виде.

Классифицировать минералы по химическим элементам очень трудно, так как все минералы, за исключением самородных элементов, состоят из нескольких элементов, в связи с чем возникает вопрос: с каким элементом следует рассматривать тот или иной минерал?

В «Минералогии» 1940 г. автор за основу принял производственный признак, который почти совпадает с геохимическим.

В настоящее время для большей объективности автор выдвигает собственно геохимическую значимость элементов в минерале, причем принимаются во внимание декады В. И. Вернадского — распространенность химических элементов в земной коре. Сопоставляя распространенность химических элементов друг с другом, можно говорить об их геохимической значимости в любом минерале. Например, хлористый натрий-галит состоит из натрия и хлора, из него добывают и натрий и хлор. Ранее автор относил галит к минералам натрия, теперь относит к хлору, исходя из следующих соображений: натрий относится ко второй декаде, а хлор к третьей; следовательно, для натрия пребывание в решетке галита является небольшим событием, а для хлора почти вся жизнь связана с этим минералом.

Следуя таким путем, можно сравнительно объективно отнести минералы к тем или иным классам, не повторяя их для разных классов.

Минералом следует называть такое твердое тело, в котором один или несколько химических элементов в виде атомов или ионов закономерно соединились в пространственную решетку и выделили или поглотили при этом определенное количество энергии; это тело обладает присущими ему физическими и химическими свойствами, которые можно установить при помощи современных методов исследования, оно устойчиво для разных сред при определенной температуре и давлении.

Коллоидные и аморфные минералы, как уже доказано, представляют собой скрытокристаллические агрегаты, т. е. они относятся к этой же категории. Но жидкие и газообразные тела следует рассматривать не как минералы, а как минеральные образования. Известно, что между жидкими, газообразными и твердыми телами могут существовать постепенные переходы, представляющие собой тип скачкообразного перехода, у которого скачок имеет очень малую амплитуду.

Теперь необходимо выяснить, в каком порядке следует рассматривать минералы, классифицированные по ведущему химическому элементу. Так как минералы земной коры представляют собой твердые тела, являющиеся продуктами химических реакций, протекавших естественным путем в земной коре, то и в классификации минералов главная роль должна принадлежать геохимическим особенностям. Об одной из них уже говорилось — о геохимической значимости химических элементов; другая особенность — распространенность химических элементов в геосферах.

В курсе минералогии и в очерках геохимии В. И. Вернадский проводил идею зонального распределения химических элементов в земной коре. В особенности выпукло показал эту зональность акад. А. Е. Ферсман в «Геохимии» и в классической монографии «Пегматиты». Исходя из этих положений можно классифицировать минералы по ведущим химическим элементам и располагать

их согласно распределению в геосферах; так дается геохимическая основа классификации минералов. Следует иметь в виду значение классификации минералов по типу химического соединения и по кристаллохимическому признаку, однако они должны иметь подчиненное положение. В связи с этим еще в первом издании «Минералогии» (1940 г.) автор расположил минералы отдельных элементов по типу химического соединения. Например, минералы меди рассматриваются так: вначале самородные, затем сернистые, далее галлоидные и др. соединения. Если к этому прибавить кристаллохимический признак, то получается очень удобное расположение материала.

Располагая таким образом материал, можно корректировать константы минералов, предсказывать новые минералы и говорить о их генезисе и парагенезисе, чего нельзя сделать при рассмотрении минералов не по ведущему химическому элементу, а по типу химического соединения. Так, изучая минералы свинца, автор пришел к выводу, что удельный вес свинцового сурика (миниум) определен неправильно. Во всех руководствах для миниума ранее давался удельный вес 4,6, в то время как для галенита (PbS) — 7,57, для массикота (PbO) — 9,75.

Рассматривая миниум с другими перекисными минералами, не содержащими свинец, нельзя было не обратить внимание на заниженный удельный вес перекиси свинца; при сопоставлении с удельным весом других свинцовых минералов, можно заключить, что удельный вес миниума колеблется между 8 и 9; это экспериментально и было доказано автором. Следовательно, предложенный автором метод расположения материала в описательной минералогии является не только удобным, но и необходимым, так как он помогает корректировать константы минералов и дает возможность предсказывать новые минералы.

В основу общего расположения всего материала при классификации минералов по ведущему химическому элементу положен принцип значения зонального распределения химических элементов в земной коре. Располагая химические элементы по декадам их распространенности в соответствующих геосферах, замечаем, что не везде она одинакова. В первом издании «Минералогии» автор принял схему расположения химических элементов по геосферам от периферии к центру, причем рассматривал не только твердые, но и жидкие и газообразные минералы. Поэтому изучение начиналось с минералов атмосферы. В настоящее время автор считает, что минералами могут быть только твердые тела и рассматривать их следует не с атмосферы, а с коры выветривания, к которой приурочена биосфера. Биосферу можно характеризовать распространенностью химических элементов в гидросфере, живом веществе, почве и осадочных породах.

Если принимать во внимание только процентное значение распространенности того или иного элемента, то к минералам кисло-

рода следует отнести большую часть минералов, что затушеует всю остальную геохимическую картину; поэтому минералы кислорода рассматриваются только с водородом. Учитывая большое значение кислорода и водорода в верхней зоне земной коры, определение минералов необходимо начать с минералов этих элементов. Далее по геохимической значимости идут кремний и алюминий. Простые окислы и гидроокислы этих элементов, силикаты и алюмосиликаты составляют основной субстрат для биосферы, поэтому минералы этих элементов рассматриваются раньше, чем минералы, состоящие из элементов, входящих в живое вещество, а именно углерод, азот, сера и фосфор.

Затем характеризуются минералы элементов, составляющих основу осадочных солей, — бор, хлор, бром и йод. Фтор, как и литий, рубидий и цезий здесь не рассматривается, так как он имеет иное геохимическое значение и участия в галогенезе не принимает. После хлора описываются минералы щелочей — натрия и калия.

После калия идут минералы кальция и магния; бериллий с щелочными землями, как и литий со щелочами изучается одновременно с минералами пегматитового процесса.

После магния следуют минералы семейства железа: железо, марганец и ванадий. Никель и кобальт, как не входящие в первые две декады и не связанные с галогенезом, рассматриваются позже. Осадочный цикл завершают минералы стронция и бария.

После рассмотрения минералов, состоящих из элементов биосферы, переходят к минеральным группам тех элементов, которые связаны с гидротермальным процессом. Гидротермальные проявления в основном представлены жильными телами, сложенными кварцем, кальцитом, баритом и флюоритом. Первые три минерала описаны в минералах кремния, кальция и бария; остался флюорит с минералами фтора. Затем разбираются минералы, элементы которых встречаются в эпитермальных месторождениях: мышьяк с таллием, ртуть и сурьма. Между эпитермальными и мезотермальными находятся минералы, содержащие золото, серебро, теллур и селен. Далее следуют собственно мезотермальные минералы с висмутом, свинцом, цинком, кадмием, медью, кобальтом, никелем; затем минералы молибдена с рением, вольфрама, олова с германием, за ними пневматолитовые и пегматитовые, содержащие тантал, ниобий, литий с рубидием и цезием, бериллий, цирконий с гафнием и редкие земли. Этот цикл заканчивается минералами титана, которые, с одной стороны, относятся по генезису к пегматитово-пневматолитовому типу, связанному с кислыми породами, с другой, образуются в связи с основными породами. Далее рассматриваются минералы основных и ультраосновных магм, минералы хрома и группа платины. Наконец, в особую группу выделяются минералы радиоактивных элементов, так как они имеют специфический характер, не только минералогический, но и геохимический.

Таким образом, новая классификация автора представляется в следующем виде:

<i>Класс</i>	<i>Минералы</i>	<i>Класс</i>	<i>Минералы</i>
I	кислорода и водо-	XXV	теллура
II	рода (лед), кремния*	XXVI	селена
III	алюминия	XXVII	висмута
IV	углерода	XXVIII	свинца
V	азота	XXIX	цинка
VI	серы	XXX	кадмия
VII	фосфора	XXXI	меди
VIII	бора	XXXII	кобальта
XI	хлора	XXXIII	никеля
	брома, иода	XXXIV	молибдена и
X	натрия		рения
XI	калия	XXXV	вольфрама
XII	кальция	XXXVI	олова и
XIII	магния		германия
XIV	железа	XXXVII	ниобия и тан-
XV	марганца		тала
XVI	ванадия	XXXVIII	лития, рубидия
XVII	стронция		и цезия
XVIII	бария	XXXIX	бериллия
XIX	фтора	XL	циркония и
			гафния
XX	мышьяка и	XLI	редких земель
	галлия	XLII	титана
		XLIII	хрома
XXI	ртути	XLIV	группа платины
XXII	сурьмы	XLV	радиоактивные
XXIII	золота		
XXIV	серебра		

Примечание. В минералы кремния теперь входят каолин, пирофиллит, родонит и тальк, но боросиликаты, бериллиевые, циркониевые, редкоземельные, титановые и урановые силикаты по-прежнему не включены и рассматриваются с соответствующими элементами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уклонский А. С. Минералогия, М.—Л., 1940.
2. Смольянинов Н. А. Практическое руководство по минералогии, М.—Л., 1948.
3. Palache Ch., Berman H., Frondel C. The sistem of mineralogy, N—York — London, 1944.
4. Strunz H. Mineralogische Tabellen, Zeipzig, 1941.

ПАРАГЕНЕЗИС МИНЕРАЛОВ И ПАРАЭЛЕМЕНТЫ*

Изучая парагенезис минералов, т. е. их совместное образование в каком-либо месторождении, обычно в целях выявления неизвестных еще элементов или минералов прибегают к помощи

* Опубликовано в ДАН УзССР, 1952 г., № 3.

изоморфных рядов В. И. Вернадского. Эти ряды указывают нам только на возможность замены одного химического элемента другим (например, в девятом ряду магний замещается на двухвалентные марганец, железо и др.), но они не говорят о том, какие же химические элементы могут вообще встречаться друг с другом в единой пространственной решетке минерала данного месторождения. Это чрезвычайно важно знать не только для изучения генезиса данного месторождения, но и непосредственно для практических целей — обогащения руд. Можно ли методом дробления и последующей флотацией избавиться от примесей каких-либо элементов или нельзя? Если эти элементы не входят в единую пространственную решетку, то это возможно, если входят, то избавиться от них можно только химическим или металлургическим путем.

Автор полагает, что минералами следует считать только твердые тела, которые можно рассматривать как станции на пути движения химических элементов в земной коре. На этих станциях останавливаются разные химические элементы; совместное их нахождение в единой пространственной решетке минерала является выражением закономерности движения химических элементов в земной коре.

Занимаясь вопросом систематики минералов по ведущему химическому элементу, автор заметил, что не все химические элементы входят друг с другом в единые пространственные решетки минералов; такие элементы, как железо, входят в решетки почти со всеми элементами, а другие (такие, как хром), соединяются с немногими элементами. Это совместное пребывание разных химических элементов в единых пространственных решетках минералов автор предлагает назвать избирательным средством к совместной кристаллизации, а элементы, входящие в единую пространственную решетку минерала, — параэлементами (от древнегреческого слова пара, что значит подле, возле, вблизи, около; например, парагенезис).

Параэлементами следует называть такие элементы, которые могут встречаться в единых пространственных решетках минералов; они указывают на совместное выделение из жидкой или газообразной фазы в твердую. Таким образом, по станциям, т. е. своеобразным этапам движения химических элементов, определяется их совместный путь движения в земной коре. Следовательно, не только изоморфные ряды Вернадского, но и таблицы параэлементов, предлагаемые автором, помогут осветить темные места в изучении истории образования месторождений полезных ископаемых. Зная параэлементы того или иного элемента и в особенности параэлементы определенного типа химического соединения (например, параэлементы сульфидов свинца), можно не только говорить о парагенезисе минералов, но и подойти к более достоверному объяснению генезиса самого месторождения. Кроме то-

го, таблицы параэлементов помогают в поисках элементов, неизвестных для данного месторождения.

Ниже даются таблицы химических элементов Менделеева, на которых отмечены параэлементы¹. Эти таблицы носят условный характер, так как, возможно, что в них пропущен какой-либо элемент. Автор считает, что работа по уточнению параэлементов должна быть выполнена большим коллективом минералогов и геохимиков; однако, следует полагать, что предлагаемые таблицы в настоящем их виде дают общую ориентировку в этом вопросе.

При составлении таблиц автор умышленно не принял во внимание присутствие в минералах ничтожных примесей, обнаружи-

Таблица 1

	I Cu								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1	+H								He
2	Li	Be	+B	+C	+N	+O	+F		Ne
3	+Na	+Mg	+Al	+Si	+P	+S	+Cl		Ar
4	+K	+Ca	Sc	Ti+	V+	Cr+	Mn+	Fe+Co+Ni	
5	Cu+	Zn+	Ga+	+Ge	+As	+Se	? Br		Kr
6	Rb	Sr	+Y	Zr	Nb	Mo+	Tc	RuRhPd+	
7	Ag	Cd	In	+Sn	+Sb	+Te	+j		Xe
8	Cs	+Ba	+TR	Hf	Ta	W+	Re	OsJr+Pt+	
9	Au+	Hg+	Tl+	+Pb	+Bi	Po	At		Rn
10	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U+			
	Ce+...								

ваемых спектральным путем. Если учитывать все примеси, то почти любой элемент в рассеянном виде будет присутствовать во многих минералах и тогда значение и цель изучения параэлементов сведется к нулю. Необходимо знать, входит ли в пространственные решетки данный элемент совместно с другими или нет; если он входит в минерал как примесь, то она может быть местного характера и не имеет принципиального значения. Значение микрокосмоса иного порядка — он существует и здесь не обсуждается.

Для каждой из восьми групп периодической системы Менделеева приводится по одному примеру (табл. 1—8).

¹ Для составления таблиц параэлементов автор проделал большую работу по пересмотру справочной литературы и журнальных статей в русской и зарубежной печати. Приводится краткое сообщение о сущности вопроса.

Из рассмотрения параэлементов меди видно, что среди них отсутствуют элементы, минералы которых образуются в условиях

Таблица 2

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

Таблица 3

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

пегматитового процесса: литий, рубидий и цезий, бериллий, цирконий, ниобий и др. При присутствии фтора они характеризуются

и другими галогенидами — хлором, бромом, йодом и полным наличием третьего и пятого горизонтальных рядов.

Таблица 4

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

Таблица 5

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

Параэлементы цинка близки параэлементам меди, но отличаются присутствием бериллия и фтора и отсутствием хлора, брома и йода.

Вопрос о параэлементах бора нуждается в специальной доработке, так как обращает внимание отсутствие связи с углеродом,

Таблица 6

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

Таблица 7

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

что не отмечено предыдущими исследователями, в частности А. Е. Ферсманом. Отсутствие рубидия и цезия, а также брома и йода может быть кажущимся.

Поражает громадное количество параэлементов свинца, что объясняется его особым положением в связи с радиоактивным распадом. При более детальном рассмотрении параэлементов свинца по типам химических соединений выявляется интересная связь его с цинком.

Как и следовало ожидать, параэлементов азота очень мало, все они относятся к легким элементам верхних рядов, за исклю-

Таблица 8

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

чением бария и ртути, что связано с концентрацией азота в биосфере.

Параэлементы теллура оказались в ограниченном количестве. Отсутствие теллуридов кобальта, цинка, галлия и германия вызывает сомнение.

Параэлементов фтора очень много. Как и следовало ожидать, среди них нет серебра и золота, брома и йода, селена и теллура. Для пятой группы известны минералы, содержащие одновременно фтор и азот, фосфор, мышьяк и сурьму. Висмутовые минералы неизвестны, но нахождение их возможно, что же касается хрома, то, хотя и отмечается фуксит с содержанием фтора, мы считаем, что связь с хромом, вероятно, отсутствует и в хромовых минералах вместо фтора присутствует гидроксил.

Очень много параэлементов железа, отсутствие среди них брома и йода, вероятно, кажущееся.

При составлении таблиц для элементов по типу химического соединения и по определенным валентностям получается другая картина.

Исследование энергетических показателей А. Е. Ферсмана дало отрицательный результат, т. е. они не применимы для объяснения этого явления.

ИЗОМОРФНЫЕ РЯДЫ В. И. ВЕРНАДСКОГО И ПАРАЗЭЛЕМЕНТЫ*

Ранее (1) нами были рассмотрены изоморфные ряды В. И. Вернадского, предложенные им в первом варианте.

Его последний вариант не был рассмотрен. В 1923 г. В. И. Вернадский несколько изменил предложенную им ранее таблицу изоморфных рядов (2):

1. Al, Fe, Cr, Mn | Tl, B, (Y), (Ce), V, In?

2. Ba, Ca, Sr, Pb,

3. Br, J, Cl, F

4. V, P, As, Sb?
5. Bi, Sb, As

6. K, Na, Cs, Rb | Tl Li, H

7. W, Mo
8. Ge, Sn
9. Mg, Mn, Fe, Zn, Cd, Cu, Ni, Co, In?

10. Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Tl?

11. Pt, Fe, Pd, Jr, Rh, Cu

12. Os, Ru, Rh, Ir
13. Ca, Mg, Mn, Fe

14. O, F?
15. Co, Fe, Ni

* Опубликовано в ДАН УзССР, 1952, № 12.

16. Si, Ti, Zr, Mn

17. Th, U

18. Zr, Hf

19. Nb, Ta

20. S, Se, Te?

Условные обозначения

————— — зона выветривания

—— . —— — зона метаморфизма

----- — зона магматизма

В таком виде таблица была напечатана и в учебном пособии «Минералогия» (3).

Измененная таблица изоморфных рядов отличается от первоначальной некоторым уточнением и дополнением.

В первом ряду со знаком вопроса добавлен индий, в третьем — опущен (ОН), в шестом — (NH₄), в девятом — бериллий, но прибавлен индий, в тринадцатом ряду прибавлено железо, в четырнадцатом опущен (ОН), в шестнадцатом — торий и прибавлены два ряда: торий — уран и цирконий — гафний.

Рассматривая эти изменения на фоне параэлементов, мы замечаем, что индий, являясь рассеянным элементом, не включается как параэлемент в первый ряд. Исключение гидроксила (ОН) из третьего ряда улучшает его положение, но все же фтор не является параэлементом брома и иода. Правильно из шестого ряда изъят (NH₄), который не только не изоморфен со щелочами, но и не является их параэлементом. Из девятого ряда можно было бы не исключать бериллий, так как он является не только изоморфным для части этого ряда, но и его параэлементом. Добавленный к девятому ряду индий следует рассматривать не как параэлемент, а как рассеянный. Прибавление железа к тринадцатому ряду не вызывает возражений. Введение (ОН) в изоморфный четырнадцатый ряд с кислородом и фтором явилось гениальной интуицией В. И. Вернадского, который в 1909 г., конечно, не мог знать размеров радиусов ионов кислорода, фтора и гидроксила, почти равных друг другу. Исключение (ОН) из четырнадцатого ряда досадная ошибка. Из шестнадцатого ряда можно было бы торий не исключать, так как он является не только изоморфным, но и параэлементом всего этого ряда. Включение двух новых рядов: тория — урана и циркония — гафния не вызывает возражения с точки зрения параэлементов.

Таким образом, учитывая первый и последний варианты изоморфных рядов, можно сделать следующую сводную таблицу или так представить закон В. И. Вернадского:

Изоморфные ряды

1. Al, Fe, Cr, Mn, Ti, B, Ce, V | In
2. Ba, Ca, Sr, Pb
3. Cl, Br, J | F?
4. P, V, As | Sb?
5. As, Sb, Bi
6. H, Li, Na, K, Pb, Cs | Tl?
7. Mo, W
8. Ge, Sn
9. Mg, Mn, Fe, Zn, Be, Cd, Cu, Ni, Co | In?
10. Cu, Ag, Au, Hg, Pb | Tl
11. Pt, Fe, Ir, Rh, Pd, Cu
12. Os, Ir, Ru, Rh
13. Mg, Cu, Mn, Fe
14. O, OH, F
15. Co, Fe, Ni
16. Si, Ti, Zr, Mn, Th
17. Th, U
18. Zr, Hf
19. Nb, Ta
20. S, Se, Te

Сопоставляя закон В. И. Вернадского с параэлементами, замечаем, что в первом ряду индий относится к рассеянным элементам; остаются в силе подряды «а, б, в», отмеченные в нашем предыдущем сообщении (1). Второй ряд не имеет изменений. Для третьего ряда следует отметить, что фтор не является параэлементом брома и иода. В четвертом ряду на особом положении находится сурьма. Для пятого ряда замечаний нет. В шестом ряду таллий, вероятно, относится к рассеянным элементам. Для седьмого и восьмого рядов замечаний нет. В девятом ряду индий относится к рассеянным элементам; к остальной части ряда, а также для десятого и одиннадцатого рядов остаются замечания, опубликованные ранее (1). В отношении остальных рядов (12—20) замечаний нет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уклонский А. С., Об изоморфных рядах В. И. Вернадского и параэлементах, ДАН УзССР, 1952, № 7.
2. Вернадский В. И., История минералов земной коры, т. 1, вып. 1. Петроград, 1923.
3. Уклонский А. С., Минералогия, М.—Л., 1940.

К ВОПРОСУ О ГЕОХИМИИ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗА*

Вопрос об условиях возникновения окисных соединений железа, в частности магнетита, в магматических породах и контактово-метасоматических месторождениях до сих пор вызывает много дискуссий. Это объясняется тем, что не ясен еще источник кислорода для окисления железа, присутствующего в глубинной магме, как показывают анализы магматических горных пород, преимущественно в закисном состоянии. По нашему мнению, вопрос этот может быть решен на основании геохимического анализа состава получающихся из магмы минералов в магматических породах.

Известно около 800 минералов, в решетки которых входит железо. Несмотря на большую распространенность в земной коре (4,29%), железо не дает с некоторыми элементами соединений. Правда, таких элементов очень мало (Ti, V, I). С другими же оно дает чрезвычайно большое количество соединений, например с магнием и алюминием.

А. Е. Ферсман и В. М. Гольдшмидт установили семейство железа, к которому отнесли титан, ванадий, хром, марганец, кобальт и никель. Еще в 1947 г. мы показали, что к нему следует прибавить платиновый ряд. Однако это семейство существует не для всех типов химических соединений, что необходимо учесть при больших геохимических построениях.

Семейство железа без платиновой группы существует только для силикатов, алюмосиликатов и шпинелидов. Галоиды и их гидраты, оксигалоиды, арсенаты, бораты, теллулаты, молибдаты и органические соединения с остальными членами семейства железа минералов не образуют; в другие типы химических соединений входят только отдельные его члены. Следовательно, о распространенном понятии «семейство железа» следует говорить с некоторыми оговорками.

Особенно часто встречаются вместе с железом элементы третьего горизонтального ряда периодической системы; натрий (в 110 минералах), магний (в 248), алюминий (в 229), кремний (в 348), фосфор (в 107), сера (в 135), хлор (в 14). Замечательно, что этот ряд расположен над семейством железа. Во втором горизонтальном ряду железо встречается со всеми элементами. Что касается фтора, то собственно фтористых минералов железа нет, а совместно с железом он встречается в силикатах и алюмосиликатах 24 раза. Всего имеется 59 параэлементов железа.

Эта краткая характеристика встречаемости железа с другими атомами в пространственных решетках указывает на своеобразие поведения железа в земной коре: известно, что окисное железо

* Опубликовано в сб. «Вопросы петрографии и минералогии», т. 1, М., 1953, с. 184—192.

почти не встречается в силикатах и алюмосиликатах магматического происхождения.

Просматривая химические анализы горных пород от основных до кислых, замечаем в них присутствие одновременно закиси и окиси железа, причем окись находится в подчиненном количестве. Но можем ли мы говорить на основании этого, что в самой глубинной магме действительно одновременно существуют и окись и закись железа? Следует подчеркнуть, что если из магмы выделяются минералы, которые состоят из ионных решеток, то вещество магмы, очевидно, само находится в ионизированном состоянии, а не в виде расплавленных окислов, насыщенных молекулярными газами и парами. Мы считаем, что только из ионизированной среды могут выделяться минералы с ионными решетками.

До дифференциации магма представляет некоторую равновесную систему. Вряд ли можно допустить, что в равновесной ионизированной системе присутствуют одновременно разной валентности ионы железа, марганца, ванадия и других элементов, имеющих переменную валентность. В равновесной ионизированной системе, вероятно, существуют для одного и того же вещества ионы только одной валентности; ионы другой валентности могут появиться при нарушении равновесия. В глубинной магме отсутствует свободный кислород. Известно, что чем более основная магма, тем меньше в ней вообще кислорода и летучих составных элементов, в частности воды. Температура магмы, по-видимому, достаточно высокая, но единого мнения по данному вопросу нет, что объясняется невозможностью непосредственного измерения температуры магмы. Ларсен считает, что температура гранитной магмы не выше точки перехода α -кварца в β -кварц, т. е. 573° или около 600° . Дэли по поводу температуры гранитной магмы писал: «Горансон весьма успешно справился с трудной работой определения кривой плавления гранитной магмы как функции концентрации воды. Его результаты таковы:

<i>Вес воды, %</i>	<i>Температура (+50°)</i>	<i>Вес воды, %</i>	<i>Температура (+50°)</i>
Воды нет	1100	5	875
1	1085	6	760
2	1060	6,5	68)
3	1020	7	600
4	960		

При давлении 980 бар и температуре около 700° на его диаграмме жидкий гранит имеет 6,3% воды в растворе. Он считает, что сухой гранит начинает плавиться при $900-950^\circ$ » (1936).

Следовательно, реально доказано, что гранитная магма имеет сравнительно низкую температуру, и веществом, понижающим температуру плавления магмы, является вода¹. Вода понижает

¹ Магму нельзя рассматривать как огненно-жидкую.

температуру не только гранитной магмы, но и диоритной и других более основных магм.

Но действительно ли в магме присутствует вода как таковая?

Как было отмечено, в магме все вещества, включая предполагаемую воду, находятся в ионизированном состоянии. Это тем более вероятно, что в глубинах магмы температура очень высокая и вряд ли здесь возможно образование воды. Гораздо вероятнее присутствие гидроксила. Следовательно, фактором, понижающим температуру магмы, вероятно, является не вода, а гидроксил, т. е. соединение с максимальным количеством кислорода (94,11 %).

Для образования магнетита при кристаллизации магмы требуется, чтобы часть двухвалентного железа перешла в трехвалентное, т. е. чтобы произошло частичное окисление железа. Считают, что такой процесс может произойти от действия паров воды на закисное железо. Однако не известен ни один магматический минерал, содержащий воду в виде H_2O , обычно она в них содержится в виде гидроксила. Поэтому можно допустить, что именно гидроксил и окисляет железо до трехвалентного состояния. Но где же может происходить этот процесс?

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг считал, что магнетитовые месторождения иногда образуются путем магматической ликвации. Дэли, рассматривая магматические руды, приводит пример бушвельдского комплекса в Южной Африке, в котором среди дифференциатов норита имеются слои титансодержащего магнетита. Объяснение образования этих слоев путем гравитационной дифференциации он считает недоказанным.

А. Е. Ферсман (1939) писал, что при первой дифференциации магмы большая часть железа остается в основной магме, где при процессах протокристаллизации оно выделяется в виде мелкокристаллического магнетита и силикатов, преимущественно оливина и пироксенов. При наличии хрома образуется хромит.

Г. Берг указывал, что во время главной кристаллизации не образуется месторождений руды, однако появление содержащих большое количество железа и большей частью легко разлагающихся силикатных пород составляет предпосылку для концентрации железной руды при выветривании.

А. Е. Ферсман отмечает, что часть железа отделяется от силикатного расплава глубинной магмы при процессе флюидной дифференциации, с образованием сульфидной магмы, состоящей главным образом из пирротина, причем процесс этот происходит путем ликвации.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, очевидно, считал, что в глубинной магме могут существовать одновременно закисное и окисное железо. Становясь на его позиции, нельзя допустить возможность простой магматической ликвации для образования ферролитной магмы. Для этого требуется частичное окисление Fe, что в глубинной магме невозможно.

Ультраосновные магмы бедны кислородом и летучими веществами. В них могут образовываться сегрегации только хромистого железняка, содержащего закисное железо. А. Г. Бетехтин прав, считая, что именно так происходит первоначальное выделение хромита. Только при метаморфизации хромита в его решетку входит окисное железо. А. Г. Бетехтин указывает, что метаморфизация хромита происходит при участии воды уже в постмагматический период.

В образовании титаномагнетитов, как справедливо отмечают И. И. Малышев и А. В. Пэк, принимает участие вода, частично окисляющая закисное железо до окисного.

Из этого следует, что магматической сегрегации или ликвации магнетита и, тем более, гематита быть не может. Если же в анализах горных пород и имеется окисное железо, которое проявляется в присутствии в породах отдельных зерен магнетита, то это значит, что в небольшом масштабе происходит процесс окисления железа при застывании самой глубинной магмы. При этом происходит процесс разложения гидроксила и, как следствие, в породе должен присутствовать свободный водород или соединения типа H_2S . Поэтому мы считаем, что процесс окисления в магме закисного железа до окисного происходит при участии гидроксила.

Следовательно можно предположить, что и контактово-метасоматические магнетитовые месторождения обязаны своим происхождением постмагматическим процессам, связанным с частичным окислением закисного железа до окисного при помощи гидроксила.

Вопрос об агенте, вызывающем окисление выделяющихся из магмы на контакте с известняками железистых эманаций, вызвал обширную дискуссию в советской и зарубежной литературе.

А. Н. Заварицкий (1927) при исследованиях горы Магнитной установил, что магнетит находится во внутренней, скарновой зоне контакта, тогда как гематит — во внешней зоне, что указывает на образование магнетита при более высокой температуре, чем гематита. Это полностью соответствует результатам опытов получения магнетита Штирнеманом (Stirnemann, 1925), который обнаружил, что выделяющийся из магмы при температуре выше 550° $FeCl_3$ неустойчив и разлагается по формуле $2FeCl_3 = 2FeCl_2 + Cl_2$. При взаимодействии с водой при этой температуре он дает FeO и HCl или магнетит. При температуре около 200° $FeCl_3$ с H_2O дает $Fe(OH)_3$. А. Н. Заварицкий присоединился к мнению Е. С. Федорова, Дюпарка и Гольдшмидта, что вынос железа из магмы, вероятно, происходит существенно в виде хлоридов.

А. Е. Ферсман писал: «В то время как протокристаллизация, богатая железом, обычно не дает крупных концентраций этого материала, более бедные и совсем бедные Fe, но богатые Na магмы дают крупнейшие накопления, особенно в контактовых процессах карбонатных пород с кислыми или средними магмами...»

(1937, стр. 365). Рассматривая механизм контактового образования, он указывал: «Контакты кислых и средних магм с известняками. Поглощение СаО (с выносом CO_2), увеличение числа ионов (ОН), повышение рН системы, превращения по закону действующих масс амфотерных катионов в анионы комплексные (в порядке их кислотности). Изменчивый окислительный потенциал. Случай «А» — окислительный потенциал низок. Весь Fe в виде закиси, образование типичного скарна с пироксеном и амфиболами, сульфиды. Случай «Б» — окислительный потенциал высок. Весь Fe перешел в окись и комплексный анион $(\text{Fe}_2\text{O}_4)^{-2}$. Гематит, гранат, эпидот, сульфиды окислены или вынесены. Случай «В» — промежуточное положение окисления. Закись и окись железа. Образование $\text{Fe}^{+2} + (\text{Fe}_2\text{O}_4)^{-2}$ (магнетит) относительно поздней кристаллизации. Частичное образование ильваита (гранат, эпидот). Сохранение сульфидов.» (1939, стр. 138).

Из приведенных высказываний видно, что А. Е. Ферсман считает возможным нахождение в магматическом расплаве недиссоциированной воды, и как следствие — повышение или понижение рН системы.

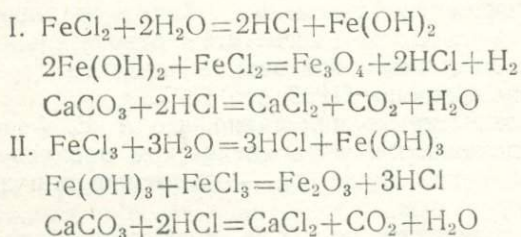
В зарубежной литературе роль CO_2 , возникающей на контакте интрузирующей магмы с известняками, подверглась обсуждению, кроме Гольдшмидта (Goldschmidt, 1911), Штирнемана (Stirnermann, 1925) и другими исследователями. Так, Бетлер (Butler, 1923) и Эккерман (Eckermann, 1923) объясняли образование окиси железа в контактовой зоне действием CO_2 на магматические эманации закиси железа по реакции: $2\text{FeO} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}$. Они отмечали, что при пониженной температуре во внешней зоне контакта эта реакция идет в обратном направлении. Образование магнетита авторы не разбирали.

Истмен, Эванс, Ральстон, Баур и Глесснер исследовали равновесия в системах $\text{FeO} : \text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{CO}_2 : \text{CO}$ и $\text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{CO}_2 : \text{CO}$ и считали возможным возникновение магнетита во внутренней зоне контакта. Однако Ласки (Lasky, 1931) нашел неточности в их расчетах и показал невозможность реакции, вызывающей последующее окисление магнетита в гематит под влиянием CO_2 . Образование магнетита и гематита под действием CO_2 , по его мнению, происходит в две стадии: $3\text{FeO} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$ и $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}$.

Ласки разобрал также вывод Фернаса и Броуна (Furnas and Brown, 1928) о возможности окисления магнетита в гематит парами воды по реакции: $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} = 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2$ и пришел к заключению о малой ее вероятности.

Подробно разобрал процесс образования магнетита и гематита на контакте с известняками Кухара (Kuhara, 1925). Он проводил опыты взаимодействия хлорных и хлористых соединений железа с различными горными породами и установил, что если на кальцит, сидерит или минерал, содержащий закисное железо, будет действовать горячий железистый раствор закисной

формы, то в результате образуется магнетит; при действии железистого раствора окисной формы будет выделяться гематит; если минерал, на который действуют железистые растворы, содержит окисное железо, то какого бы типа растворы ни были, в обоих случаях будет выделяться гематит. Роль известня сводится к реакции с образованием соляной кислоты, после чего известняк постепенно растворяется и в виде легкорастворимого хлористого кальция уносится растворами. На его месте отлагается магнетит или гематит, т. е. происходит метасоматическое замещение известняка магнетитом или гематитом. Ход реакции Кухара объясняет так:



При критическом разборе положений, приведенных Кухара, отмечены несоответствия.

В некоторых контактовых месторождениях магнетита встречается апатит, количество которого бывает незначительным по сравнению с железной рудой. Как правило, этот минерал является фтор-апатитом, а не хлор-апатитом, чего следовало бы ожидать с предполагаемым обильным выделением хлора из магмы. Образовавшаяся при этой реакции соляная кислота не только растворяла бы кальцит, но и выделяла бы свободный кремнезем, не давая ему соединиться с основаниями для образования скарновых минералов. Следовательно, магнетит должен был выделяться непосредственно в кварце, что в контактовых месторождениях не наблюдается.

Если учесть, что вещества при температуре контакта находятся в ионизированном состоянии, то предполагается, что реакция может свободно идти и без образования гидрата закиси железа — промежуточного члена этой реакции. Судьба хлора на контакте при таком положении не ясна. Магнетит и гематит по приведенной выше схеме образуются не на контакте, а в качестве минералов вулканов. При высокой температуре газовые возгоны могли не содержать большого количества паров воды, и тогда непосредственно на вулканическом туфе выделялись бы галоиды железа.

Эти минералы малоустойчивы, в конечном счете они переходят в гидрат окиси железа, а хлор, связанный с вулканическими выделениями, попадает в морскую воду, где и уравнивается натрием. При вулканических извержениях выделяется не только FeCl_2 , но и FeF_2 . В отличие от FeCl_2 , фториды Fe не образуют

минералов, и нам не известен в вулканических возгонах водный или сухой FeF_2 . В последнее время был найден новый минерал, иоцит — FeO . Этот минерал обнаружен только в вулканических лавах в виде мелких чешуек. Можно допустить, что железо могло возгоняться в виде FeF_2 . Так как фтор имеет одинаковый радиус иона с кислородом, а масса последнего значительно больше первого, то, очевидно, кислород должен был вытеснить фтор из его соединения с железом, в результате чего и мог образоваться иоцит.

Следует признать, что и Кухара, и другие исследователи дают маловероятное объяснение образованию магнетита на контактах. При рассмотрении объяснения Батлера не ясно, из чего состоят магматические эксгаляции и откуда получается закись железа. Допустим, что эксгаляция силикатная, так как хлоридная маловероятна. Тогда освободившиеся ионы SiO_3 от действия на них CO_2 при сравнительно высокой температуре не смогут соединиться с основаниями для того, чтобы образовать силикаты — скарны. При этой реакции выделится кварц. Получение магнитного железняка в результате взаимодействия углекислоты с ионами закисного железа, при одновременном образовании окиси углерода, вызывает большое сомнение. Еще большее сомнение вызывает образование на контакте SO_3 и SO_2 . Пока еще не доказано присутствие в магматических эксгаляциях SO_2 . Сера в магме находится или в атомарном состоянии, или в виде электроотрицательного иона, который в дальнейшем образует сульфиды.

О химизме контактового образования магнетита Берг писал, что железо, по старым представлениям, поступало в такие контактовые месторождения в газообразном состоянии в виде галогидного соединения. При этом из фтористого железа и карбоната кальция должны были бы образоваться закись, окись железа, фтористый кальций и свободная углекислота. Однако в контактовых месторождениях железных руд редко можно обнаружить новообразование плавикового шпата (CaF_2) в сколько-нибудь значительных количествах, но зато в них всегда очень развиты новообразования известковых силикатов. На основании этого можно предположить, что железо содержалось, вероятно, в надкритических растворах в виде водного силиката.

При рассмотрении вопроса о температуре плавления гранита, приводились данные, из которых видно, что при 7%-ном содержании воды гранит плавится при 600° . Мы уже отмечали, что в магме, вероятно, присутствует не вода, а гидроксил. Остаточная силикатная магма с повышенным содержанием гидроксила вступает в реакцию с известняком. Происходит растворение известняка с вытеснением углекислоты из контактовой зоны на периферию и уход газа в более холодную часть. Основания — кальций и магний известняков — усредняют кремнекислоту с образованием скарновых минералов, при этом часть железа окисляется гидроксидом до окиси. Трехвалентное железо с кислородом образует

комплексный отрицательный ион, который усредняется скорее всего двухвалентным железом; в магматическом растворе они находятся в непосредственной близости.

Водород, выделившийся из гидроксила, увязывается с серой, которая превращается в электроотрицательный ион. Образовавшийся сероводород осаждает тяжелые металлы, в том числе и часть железа в виде пирита. Этот процесс идет следующим, поэтому сульфиды контактового месторождения — более молодые образования, чем сам магнетит.

Во время контактового процесса в решетке магнетита не все закисное железо увязывается кислотным радикалом окисного железа; значительная часть его могла попасть в решетки силикатов и алюмосиликатов.

Во внешней контактовой зоне, куда больше устремлялось летучих веществ (гидроксила), могло произойти полное окисление закиси до окиси железа, с выделением железного блеска. Там же гидроксил входит в решетки алюмосиликатов и силикатов, образуя хлориты, эпидот, амфиболы и другие минералы контакта.

Обычно на контактах среди магнетита наблюдается и мартит. По поводу образования мартита нет единого мнения. А. Е. Ферсман писал: «Нет в наших руках и достаточно определенных структурных данных о первичном строении магнетита, очевидно, не вполне отвечающего строению шпинели (ибо в последнюю ион Fe^{+3} входит весьма трудно); неясна первичная структура титаномагнетита до его распада, нет понимания перехода решетки с ионов Fe^{+2} в ион Fe^{+3} , т. е. в мартит...» (1937, стр. 368).

Гейер говорил, что супергенный мартит возможен, но предостерегал от чрезмерного увлечения этой теорией. Автор хорошо изучил одно из самых крупных магнетитовых месторождений — Кирунавара (Швеция). Обычно при поверхностном изменении магнетита образуется мартит, а при его гидратации получается лимонит.

Исходя из наших положений относительно того, что образование магнетита происходит при частичном окислении закиси железа до окиси под воздействием гидроксила, можно предположить, что в момент образования магнетита в последнем все железо могло окислиться гидроксидом до Fe_2O_3 , с сохранением решетки магнетита. Может быть, это происходит не для всех магнетитов. Вероятно, А. Е. Ферсман был прав, когда писал о том, что структура магнетита неясна. Предполагается, что существует ряд модификаций магнетита и гематита.

Приведя указанные выше соображения, мы не считаем, что процесс образования мартита или мушкетовита происходит всегда гипогенным путем, но этот последний путь не исключается.

При развитии магматического процесса и, в частности, при внедрении магмы в вышележащие области происходит частичная или полная ассимиляция встреченных на пути горных пород. При этом до некоторой степени, иногда даже значительно, изменяет-

ся состав магмы. Дифференциация магмы при движении ее в земной коре может иногда и не зависеть от ассимиляции.

Движение магмы в земной коре происходит не по вертикальной прямой, а по каким-то кривым линиям, с задержками и пульсациями. При этом процессе газы и более легкоподвижные элементы (летучая составная часть магмы) будут устремляться в верхнюю часть магмы, которая, вступая в контакт с осадочной толщей, дает один тип месторождения, средняя — другой и, наконец, нижняя образует уже третий тип месторождений.

Так же и при образовании контактовых месторождений железа — разные срезы магмы дадут разного характера железорудные месторождения. Рассматривая в этом аспекте месторождения магнетитовых руд, можно выделить три типа:

1. Тип Баната — мелкие месторождения с небогатым содержанием железных руд, сопровождаемых полиметаллами. Он образуется в верхней части контактовой зоны.

2. Второй, или уральский, возникающий в средней части контактовой зоны, — крупные магнетитовые месторождения, сопровождаемые колчеданными рудами (пирит, халькопирит).

3. Кирунаваара — месторождения очень крупные, содержащие фосфор, или без него. Возникают в нижней части контактовой зоны.

Некоторые исследователи считают, что многие месторождения магнетита образовались из пегматитовой магмы. К ним относятся горы: Благодать, Высокая (СССР), Кирунаваара, Люоссаваара, Галливаара (Швеция) и др. Для объяснения генезиса этого типа месторождений опять приводятся соображения о том, что в остаточной магме накапливалось хлористое или хлорное железо и другие летучие вещества.

А. Е. Ферсман писал по поводу образования магнетита следующее: «Если в основных породах при обилии в расплаве железа оно могло выкристаллизовываться не только в прото-, но и в конечных стадиях кристаллизации (что характерно для некоторых габбро), то в породах гранитового типа оно преимущественно относится к процессам, идущим в протонаправлении самого пегматита. Но для того, чтобы железо выпало в очень ранней стадии пегматитового остатка в форме магнетита, необходимо, чтобы в расплаве была определенная концентрация кислорода, которая обусловила бы определенные соотношения между закисью и окисью железа. Если же этого нет, тогда магнетит образоваться не может; закись железа остается в расплаве, а окись при понижении температуры до 500 и максимум 600° выделяется в форме гематита. Только появление бора и ниобия в допегматитовом процессе может коренным образом изменить в дальнейшем его ход. Бор, как правильно подметил Кунитц, как бы подчищает пегматит, вынося из него все железо, обесцвечивая расплав, и таким образом останавливает дальнейший процесс его миграции (дифференциация расплава)» (1939, стр. 130).

Исходя из этих соображений, можно думать, что в собственно пегматитах не образуется крупных месторождений железных руд.

Несколько выше, уже в гидролитовых жилах, где температура значительно ниже, из гидроксидов и водорода начинается образование воды. В этих условиях происходит окисление закиси железа до окиси, с образованием гематита, вернее — железной слюдки в кварцевых жилах. Здесь же кремнезем из щелочного раствора, идущего из магмы, начинает вытесняться углекислотой. При участии гидроксидов происходит окисление закиси железа до окиси, с одновременным освобождением водорода, который, в свою очередь, может восстановить окись железа до закиси, т. е. реакция эта обратима. При освобождении водорода последний может с гидроксидом давать воду, а с сульфидом (H_2S) — сероводород, который из щелочного раствора будет осаждать железо в виде пирита.

При окислении закиси железа до окиси, не все двухвалентное железо переходит в трехвалентное и оседает в виде гематита; часть его, как сказано выше, осаждается сероводородом в виде пирита, а другая — в двухвалентной форме уходит еще выше и уже там, при сравнительно низкой температуре, осаждается в виде углекислого железа, т. е. сидерита. Еще выше сероводород осаждает железо в виде пирита, но в меньших количествах, чем в первом случае.

Кроме этой главной ветви фиксации ионов железа в решетках магнетита, гематита, пирита и сидерита, имеется еще побочная, в которой фиксация ионов железа происходит в кристаллических решетках совместно с медью в халькопирите, с мышьяком — в арсенипирите, с вольфрамом — в вольфрамите и в других минералах. Последнее происходит при иных условиях, которые в настоящей статье не рассматриваются.

Так заканчивается цикл магматической миграции железа.

В заключение следует отметить, что, на основании выдвинутых нами положений, крупные эндогенные месторождения железных руд образуются на контакте изверженных и осадочных пород, а не путем магматической ликвации, так как существование ферролитной магмы вряд ли возможно.

ЛИТЕРАТУРА

- Дэли Р. А. Изверженные породы и глубины Земли. Л.—М., ОНТИ, 1936.
Заварицкий А. Н. Гора Магнитная и ее месторождения железных руд, вып. 1, текст, ч. 3. — Тр. Геол. ком., новая серия, 1927, вып. 122.
Обручев В. А. Рудные месторождения. Л.—М., ОНТИ, 1935.
Ферсман А. Е. Геохимия, т. 3, ОНТИ, 1937, т. 4, Л., ГОНТИ, 1939.
Butler B. S. A suggested explanation for the high ferric—oxide content of limestone contact zones. — Econ. geol., 1923, 18.
Eskermann H. The rocks and contact minerals of Fennberg. — Geol. Fören. förh. 1923, 45, Н. 6—7.
Furnas C. C. a. Brown G. G. Equilibria in the reduction of ferric—oxide. — Ind. a Eng. Chem., 1928, 20.

- Goldschmidt V. M. Die Kontakmetamorphose im Kristianiagebit. — Vedensk. Skrift., Nat. — Wiss Kl. 1911, No 1.
- Kuhara M. Experiments on the hydrothermal precipitation of magnetite and hematite. — Japan, Journa. Geogr., 1925, 4, No 1—4.
- Lasky S. G. The systems iron oxides — CO_2 :CO and iron oxides — $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2$ as applied to limestone contact deposits. — Econ. geol. 1931, 26 No 5.
- Stirneemann E. Das System Eisenchlorid — Wasser bei höherer Temperatur. — N. Jb. Min., 1925, Abt. A.

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПАРАЭЛЕМЕНТОВ*

В последнее время в мировой литературе обсуждается ряд вопросов, в которых рассматриваются задачи минералогии и геохимии. Выдающиеся геохимики, как В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, В. М. Гольдшмидт и П. Ниггли, были и крупнейшими минералогами, и не ставили этих вопросов, так как минералогия и геохимия развивались одним путем: изучались история атомов земной коры и история образования минералов.

При новой смене минералогов и геохимиков, две родственные ветви науки — минералогия и геохимия — разделились. Геохимики стали заниматься почти исключительно изучением рассеянного состояния вещества и изотопов, а минералоги приступили к детальному исследованию отдельных минералов и их групп. Следуя таким путем, ученые собрали огромный фактический материал, расширивший наши знания о веществе земной коры, но были утрачены старые позиции в понимании генетической стороны вопроса. Недаром акад. А. Г. Бетехтин (2) пишет, что только после разрешения трех задач: 1) изучения среднего состава земной коры, 2) изучения закономерностей сочетания химических элементов в минералах, 3) изучения природных химических реакций, можно приступить к истории миграции химических элементов в связи с развитием геологических процессов или истории атомов земной коры.

История атомов земной коры представляет огромный интерес не только для познания природы вообще, но и для изучения месторождений полезных ископаемых, необходимых нашей промышленности.

Просматривая номер за номером, издающийся в Лондоне журнал «Геохимические и Космохимические Акты» («*Geochimica et Cosmochimica Acta*»), мы замечаем, что в нем сообщается много полезных сведений, но они не расшифровывают историю атомов земной коры. К этим работам нужен какой-то дополнительный ключ, при помощи которого все эти полезные сведения можно было бы применить для познания условий образования месторождений полезных ископаемых. Возьмем для примера статью Л. Х. Аренса (11) «Логнормальное распределение элементов». В ее подзаголовке написано, что это фундаментальный закон геохимии. Этот основной закон заключается в том, что дается не

* Опубликовано в Зап. Узб. огд. ВМО, вып. 8, 1955.

просто содержание какого-то редкого элемента (цезия или скандия) или даже вообще обычного, но редкого в данной породе (например, калия в базальте), а приводится логарифм колебания его концентрации. Нам кажется, что после освоения такого «основного закона» геохимии специалисты, т. е. геохимики, окажутся совершенно бессильными и не смогут помочь геологам при изучении рудных или иных месторождений. Ведь когда мы имеем дело с колебанием концентрации вещества, выраженной в долях грамма на тонну породы, у нас нет никакого основания для научного утверждения, что эти доли грамма вещества действительно первичного происхождения, а не занесены туда при последующей миграции вещества. Предельная точность исследования вещества, оторванная от понимания минерала и горной породы, может завести исследователя в тупик. Ведь микрокосмос существует, он развивается и преобразовывается, при этом некоторые «запрещенные» элементы, по А. Е. Ферсману, могут оказаться вместе в каком-то месторождении, при этом количество их будет ничтожно.

Для того, чтобы можно было использовать геохимические сведения для понимания рудообразования, необходимо геохимикам и минералогам заниматься не только рассеянным состоянием вещества в природе, но и его концентрацией, так как она приводит к образованию месторождений полезных ископаемых.

Благодаря многочисленным работам советских геологов в понимании рудообразования произошли большие сдвиги. 40—50 лет назад мы принимали каждый отдельный выход руды или какой-либо жилы за самостоятельное месторождение. Мы считали, что все руды генетически связаны с конкретными интрузиями, в результате чего изверженные породы детально изучались. Некоторые из нас считали, что появление любого минерала в рудной жиле связано с новым дроблением горных пород в связи с импульсами движения земной коры. Считалось, что рудные месторождения образовались в определенные металлогенические эпохи, и в дальнейшем никаких изменений в них не происходило, кроме выветривания с образованием железной шляпы.

И теперь мы полагаем, что некоторые рудные месторождения, в особенности платиновые, непосредственно связаны с магматическими породами. Однако, хотя многие рудные месторождения, в том числе и полиметаллические, генетически связаны с магмами, последние могут залегать на разных глубинах, вплоть до очень больших. Если рудные растворы поднимались с очень больших глубин — 10—15 км, — то они шли под очень сильным давлением, иначе не могли бы подняться на такую большую высоту. При этих условиях вряд ли возможна пульсация раствора, она может быть только при небольших глубинах магматических очагов.

Естественно, если очаг рудных растворов залегает глубоко, то растворы по трещинам могут попасть в любые горные породы,

например в сиениты, сланцы или известняки. Таким образом, отдельные жилы или выходы руды являются не самостоятельными телами, а генетически связанными друг с другом, образующими рудные поля. При проникновении рудного раствора в разнообразные горные породы могут отложиться одни и те же руды, но могут и разные руды в силу избирательной способности раствора вступать в реакцию с боковыми породами. С другой стороны, количество руды будет различным в разных породах: так, в известняках ее отложится больше вследствие их значительной реакционной способности.

Рудный раствор изменяется по пути своего следования, так как при падении температуры и давления из него выделяются минералы. Это создает известную зональность. Однако представление о ней не следует доводить до крайности. Некоторые геологи считают, что имеются самостоятельные этапы минерализации: силикатный, сульфидный, карбонатный и т. д. Кроме того, из этих разделенных растворов, по их мнению, сразу выделяются типоморфные минералы, включающие маточные растворы. Эти запакованные маточные растворы в неизменном виде дошли до наших дней. Такие исследователи предполагают, что, изучая кристаллографические формы «типоморфных минералов» и газожидкие пузырьки, включенные в них, можно установить физико-химические условия формирования месторождений.

Автор стоит на совершенно иных позициях и считает, что рудные месторождения продолжают преобразовываться вплоть до того времени, пока они не будут разрушены природой или человеком. Преобразование месторождений заключается в перемещении минерального вещества внутри контура рудного тела. Хорошо образованные кристаллы минералов выделяются в пустотах, которые могли образоваться в иные геологические периоды. «Типоморфные минералы» и газовойодные пузырьки в них появились в последующие геологические периоды. Они характерны для своих условий образования, но ничего не дают для понимания условий образования самих месторождений. Для этого необходимо знание всей ассоциации минералов данного месторождения. В большинстве случаев эти ассоциации свидетельствуют о том, что отдельные этапы минерализации — сульфидный и силикатный — не существовали, что растворы были смешанными, а не строго разделенными.

Характер рудного раствора вначале был сильно щелочным, тогда в нем одновременно переносились кремний, алюминий и ионы тяжелых металлов. В дальнейшем щелочность падала, так как часть щелочей уходила на образование алюмосиликатов; в измененном растворе алюминий уже не мог перемещаться, а мигрировали только кремний и остальные катионы. Значение фтора в этих растворах невелико, а хлор, вероятно, отсутствовал. Мы не имеем ни одного порообразующего минерала в изверженных горных породах, который содержал бы в своих решетках ион

хлора. Это не относится к щелочным породам, условия образования которых резко отличаются от условий образования нормальных изверженных горных пород. Хлор играет большую роль только в вулканическом процессе, а, как известно, вулканический и магматический процессы различаются. Обычно гидротермальная рудная минерализация сопровождается магнезиальным метасоматозом глубинного происхождения.

После образования рудного месторождения в пределах его рудного контура, включая сюда и метасоматически измененные горные породы, минеральное вещество перемещалось за счет вод, протекающих через месторождение. Генезис таких вод различный, часть из них морского происхождения, так как почти вся суша в свое время была залита морями различного возраста. Естественно, что морская вода могла попасть в рудное месторождение из морей более молодого возраста. Несомненно, что в изменении рудных месторождений большую роль играют поверхностные воды.

В результате вторичного перемещения минерального вещества образуются как более богатые, так и более бедные участки месторождений вплоть до образования совершенно «стерильных» кварцевых, баритовых, флюоритовых, кальцитовых, змеевиковых и других жил и гнезд.

С другой стороны, в соответствии с этим образуются обогащенные участки, содержащие «сундуки золота» и т. п. Стерильные жилы являются поисковым признаком, указывающим на близость богатого оруденения.

Очень часто вторичное перемещение минерального вещества геологи принимают за более молодую фазу минерализации, подразумевая под этим новые импульсы рудопроявления, связанные с магматической деятельностью. В особенности часто это бывает, если рудные минералы пересекают силикаты или даже сама руда сечет дайки порфиритов или иных жильных пород. При более детальном разборе в характере данного типа образования всегда можно заметить их вторичный характер.

Выше мы отмечали, что ассоциация всех минералов характеризует рудный процесс. Следовательно, для того, чтобы полнее разобраться в формировании месторождения полезного ископаемого, надо знать его минералы.

Здесь и следует задать вопрос — что такое минерал?

Этот вопрос ставят представители разных школ и ученые разных стран.

Если под минералами мы будем понимать газовую, жидкую и твердую фазы, то для минерала может остаться второе определение В. И. Вернадского: минерал является продуктом химических реакций, протекших естественным путем в земной коре. В большинстве случаев в рудных месторождениях ни газовой, ни жидкой фаз мы не наблюдаем. В этих трех фазах типы движения вещества различные и само качество этого движения принципи-

ально различное, поэтому объединять их в одну категорию не следует.

Если под минералами мы будем понимать только твердые фазы, то их можно рассматривать как станции на пути движения химических элементов в земной коре. Эти станции характеризуются собственными пространственными решетками, состоящими из разных химических элементов. Таким образом, в минералах, как в станциях, отмечаются этапы движения вещества в земной коре.

Весь комплекс минералов в рудном месторождении, иначе говоря ассоциация их, являющихся станциями на пути их движения (путь миграции химических элементов), помогает нам разъяснить условия образования рудного месторождения. Это необходимо для наших прогнозов при поисковых и разведочных работах.

Однако для выяснения всей ассоциации минералов необходимо длительное время. Обычно такое изучение продолжается до тех пор, пока все месторождение уже не будет выработано, т. е. смысл исследования пропадает, остается только аналогия для сопоставления при изучении других месторождений. Это понимают многие геологи и поэтому говорят о главных и второстепенных минералах. Полнее изучаются главные, бегло — второстепенные минералы. Среди второстепенных же могут оказаться такие, присутствие которых заметно влияет на генезис месторождения.

Ф. Блондель в статье «Взгляд на минералогию, естественную науку, ассоциации минералов» (12) пишет о том, что при изучении минералогии месторождений полезных ископаемых опускается количественная сторона вопроса, поэтому необходимо располагать минералы по порядку, в зависимости от их количества в том или ином месторождении. Ф. Блондель рассматривает этот вопрос с позиций геохимика, учитывает сочетания химических элементов, образующих минералы, иначе говоря, почти подходит к параэлементам. Он пишет о главных распространенных элементах и их сочетаниях.

Так, если взять для примера только O, H, Si, Al и Na, содержащиеся в минералах, то получим:

1-ый ранг	Si, O, H	кварц
	Si, Al	боксит, каолинит, глина
	Si, Al, Na	альбит
2-ой ранг	Si	тридимит (3?), опал (3?)
	Al	корунд
3—4-ые ранги	Si, Al, Na	нефелин
	Si	кristобалит
	Si, Al	андалузит, силлиманит, дистен,
	Si, Al, Na	муллит, диаспор, аноксит, бейделлит, кохит, пирофиллит жадеит, уссингит, анальцим, парагонит“.

Таким образом, на основе изучения минералов месторождения вводится качественно-количественная геохимическая характеристика. От этой таблицы недалеко ушли параэлементы автора. Если бы Ф. Блондель продумал дальше этот вопрос, то, вероятно, он бы и пришел к нашим параэлементам.

Как у Ф. Блонделя, так и у А. Г. Бетехтина на основе исследований лежит изучение концентрации вещества в минералах.

В связи с этим следует напомнить о том, что мы (8) уже писали по этому вопросу следующее: «Если мы расположим все минералы по ведущему химическому элементу — натрию, кремнию, железу, сере, хлору, и т. д., а внутри каждого такого класса по типу химического соединения, т. е. по системе Дана, начиная от самородных элементов и кончая органическими минералами, то сразу будет видна вся картина истории минералов земной коры, которую хотел видеть В. И. Вернадский».

Если идти по этому пути, то целеустремленное изучение минералогии отдельных месторождений и рудных полей приводит к тому, что за сравнительно короткий срок (3—5 лет) можно выявить и изучить много минералов.

В Кураминских горах на четырех рудных полях проводятся минералогические исследования по нашей системе. Сначала это была эпизодическая работа: Н. Т. Винниченко изучала минералогию одного из железорудных месторождений, затем М. И. Моисеева — минералогию одного из медных месторождений, наконец, последние три года С. Т. Бадалов, М. Р. Еникеев и З. М. Протодьяконова совместно с М. И. Моисеевой и их сотрудниками систематически исследуют четыре рудные поля с полиметаллическим оруденением. В дополнение к первым работам за три года ими было выявлено и исследовано около трехсот минералов и их разновидностей. Это стало возможным лишь потому, что все четыре коллектива минералогов, работая на смежных площадях производили исследования по единому плану, опираясь на геохимическую классификацию автора, которая не только давала направление в работе, но и позволяла контролировать работу. После геологического осмотра рудных полей и предварительной ориентировки брали пробы руды, пород и минералов для их спектрального исследования; далее искали минералы открытых таких путем химических элементов. Поиски начинались со шляпы месторождения и углублялись по горизонталм выработок, строго велись документация взятия образцов, положения минералов по отношению друг к другу и их количественный учет.

Положив в основу геохимическую классификацию автора, минералоги шаг за шагом проверяли возможность нахождения той или иной группы минералов и далее минералов и их разновидностей. Как пример, отметим: во всех четырех рудных полях имеется марганец и найден эпидот. При проверке оказалось, что на первой площадке были обнаружены эпидот, цоизит, клиноцоизит, на второй — эпидот, цоизит, клиноцоизит, пьомонтит, на треть-

ей — элидот, цоизит, марганцевый цоизит — тулит, на четвертой — элидот, цоизит, клиноцоизит, пьомонит. Если тулит является эквивалентом пьомонита как марганцевая разность, то на второй, третьей и четвертой площадях все благополучно в этом отношении, а на первой, как нам кажется, пропущена марганцевая разность.

Если в шляпе месторождения спектральным анализом обнаружен кобальт, а на соседней площади найден асболан, на следующей описаны кобальтин, асболан, эритрин и биберит, то мы вправе предъявить требования к исследователям поискать кобальтовые минералы. На четвертой площади был найден сравнительно редко встречающийся минерал таумасит, который раньше принимали то за гипс, то за арагонит, то за кальцит; теперь он уже обнаружен и на первой площади, вероятно, будет найден и на остальных площадях.

Однако геохимическая классификация без учета других явлений не сможет полностью осветить вопрос образования тех или иных минералов в изучаемом рудном поле.

Необходимо не только выяснить кларки химических элементов в разных горных породах, слагающих изучаемые геологические площади, но и сравнить их с кларками пород, затронутых околорудным метаморфизмом. Желательно определить изотопный состав ряда химических элементов, участвующих в рудном процессе или сопутствующих ему. Сделано же в этой области еще очень мало; имеющийся фактический материал недостаточен для научных заключений. Расслоение изотопов может происходить по разным причинам, которые по мере изучения выясняются.

Наконец, автором выявлено существование параэлементов, изучение которых, в дополнение ко всему остальному, облегчает понимание условий формирования рудных месторождений.

Под параэлементами автор понимает такие химические элементы, которые могут входить друг с другом в единые пространственные решетки минералов. Оказывается, не все химические элементы входят друг с другом в пространственные решетки естественных минералов. Некоторые из них обладают большой способностью вступать друг с другом в решетки минералов (железо, кислород, водород, сера, медь, кремний, алюминий, свинец), а у других эта способность ограничена (углерод, азот), у третьих она весьма ограничена (кадмий, галлий, таллий и др.).

Г. Б. Бокий (3) пишет о том, что «Наибольшую близость, с точки зрения сходства химических свойств, имеют элементы, находящиеся в одних и тех же подгруппах таблицы Менделеева. Из 47 двойных систем с непрерывными твердыми растворами, которые нам удалось найти в литературе в эту рубрику попадают 20: K—Rb, Rb—Cs, Ca—Sr, Sc—Y, Y—La, Ti—Zr, Zr—Hf, Nb—Ta, Cr—Mo, Mo—W, Co—Rh, Pd—Pt, Ag—Au, In—Tl, Sb—Bi, Se—Te, K—Cs, Cr—W, Ni—Pt, Cu—Au».

На основании наших данных мы можем сообщить, что не все эти пары в условиях земной коры образуют совместные станции, т. е. не все они являются параэлементами. Так, Cr—Mo, Co—Rh, In—Tl, Cr—W не входят в единые пространственные решетки минералов.

Для горизонтальных периодов Г. Б. Бокий приводит следующие пары: Nb—Mo, Ta—W, Mn—Fe, Fe—Co, Co—Ni, Rh—Pd, Ir—Pt, Ni—Cu, Pd—Ag, Pt—Au, V—Fe, Cr—Fe, Mn—Co, Mn—Ni, Fe—Ni, Re—Pt. Пока неизвестны параэлементы: Nb—Mo, Pd—Ag, Re—Pd. Этот же автор приводит и следующие пары: Fe—Rh, Co—Pd, Rh—Pt, Pd—Cu, Pd—Au, In—Pb, Fe—Ir, Co—Pt и Fe—Pd, Fe—Pt, Re—Rh.

Из последних пар Co—Pd и Re—Rh не являются пока параэлементами.

Казалось бы, что при большой химической близости этих пар они должны были давать соединения не только в лабораторных условиях, но и в природных, однако, для некоторых такая связь не обнаружена. Может быть, это объясняется нашим недостаточным знанием. Для проверки необходимо, чтобы минералогии и геохимии внимательно исследовали это явление.

При составлении изоморфных рядов В. И. Вернадский принимал во внимание не только элементы концентрации, но и рассеянные.

Выше помещены два варианта изоморфных рядов В. И. Вернадского (4) и сопоставление их с параэлементами (табл. 1), причем приведены только общие параэлементы всего ряда (9).

Вопрос о параэлементах еще недостаточно разработан. В связи с этим А. А. Сауков (6) пишет, что введение мной в науку понятия «параэлементы» является лишним и совершенно не нужным. Вероятно, это выступление связано с тем, что мной не ясно была выражена мысль о параэлементах. Если мы имеем пример Ф. Блонделя с нефелином, то $O + Si + Al + Na$, являясь параэлементами, могут сочетаться таким образом в пространственной решетке, что создают нефелин; сочетаясь в системе другой пространственной решетки эти же элементы создают альбит и т. п. Таким образом, без внесения новых элементов при изменении условий среды в расплаве или растворе может образовываться альбит или нефелин. Приведем другой пример: А. Е. Ферсман пишет о серебре следующее: «47. Серебро. Ag. Отмечено лишь спектроскопически в пегматитах Онтарио (Harcourt, 1934). В гадолинитах И. и В. Ноддаки нашли $5 \cdot 10^{-4}\%$ Ag».

Формулу гадолинита А. Г. Бетехтин (1) пишет так: — $Y_2FeBe_2Si_2O_{10}$, Г. Штрунц (14) — $Y_2Fe[O]BeSiO_4$, М. Хей (13) — $2[Be_2FeY_2Si_2O_{10}]$. Ни в одну из них серебро не включено, а входят Be, Y, Si, O, Fe.

Следует ли на основании анализов Ноддаков включать в формулу гадолинита серебро, иначе говоря — входит ли в пространственную решетку этого минерала серебро или нет? Если оно вхо-

дит, то для серебра параэлементами будет служить указанный выше ряд. Из этого ряда автору пока известны как параэлементы серебра только кислород и железо; бериллий, натрий и кремний не являются таковыми. В гадолините серебро, вероятно, входит не в решетку этого минерала, а в решетку какого-то сульфида,

Таблица 1

Изоморфные ряды В. И. Вернадского и параэлементы

	I. Вернадский, 1908	II. Вернадский, 1923 (4)	III. Параэлементы
1	Al, Fe, Cr, Mn, Ti, B, (Y), (Ce), V	Al, Cr, Mn, Ti, B, (Y), (Ce), V, In?	Al, Fe, Cr, Mn, Ti, B, Y
2	Ba, Ca, Sr, Pb	Ba, Ca, Sr, Pb	Ba, Ca, Sr, Pb
3	Br, J, Cl, F, OH	Br, J, Cl, F	Br, J, Cl, OH
4	V, P, As, Sb?	V, P, As, Sb?	V, P, As
5	Bi, Sb, As	Bi, Sb, As	Bi, Sb, As
6	NH ₄ , K, Na, Cs, Rb/Tl, Li, H	K, Na, Cs, Rb/Tl, Li, H	K, Na, Cs, Rb, Li, H
7	W, Mo	W, Mo	W, Mo
8	Ge, Sn	Ge, Sn	Ge, Sn
9	Mg, Mn, Fe, Zn, Be?, Cd, Cu, Ni, Co	Mg, Mn, Fe, Zn, Cd, Cu, Ni, Co, In	Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Co
10	Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Ti	Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Ti?	Au, Ag, Cu, Pb
11	Pt, Fe, Pd, Ir, Rh, Cu	Pt, Fe, Pd, Ir, Rh, Cu	Pt, Fe, Pd, Cu
12	Os, Ru, Rh, Ir	Os, Ru, Rh, Ir	Os, Ru, Rh, Ir
13	Ca, Mg, Mn	Ca, Mg, Mn, Fe	Ca, Mg, Mn, Fe
14	O, F, OH	O, F?	O, F, OH?
15	Co, Fe, Ni	Co, Fe, Ni	Co, Fe, Ni
16	Si, Ti, Zr, Mn, Th?	Si, Ti, Zr, Mn	Si, Ti, Zr, Mn, Th
17	Nb, Ta	Th, U	Th, U
18	S, Se, Te?	Zr, Hf	Zr, Hf
19	—	Nb, Ta	Nb, Ta
20	—	S, Se, Te	

включенного в него. На основании этого автор не включает в параэлементы серебра Be, Y и Si.

Если в гранитных пегматитах отмечено золото, хотя оно там и редко встречалось, то серебро — параэлемент золота — будет обязательно с ним присутствовать в пегматите в заметных количествах.

И. И. Гинзбург и И. А. Рукавишникова (5) приводят ряд анализов бейделлитов и монтмориллонитов Урала, в которых отмечается одновременное присутствие титана и никеля; так, в № 6, в табл. № 275 TiO₂ — 0,38%, а NiO — 0,47%. В галлуазите (табл. № 267) TiO₂ — 0,11%, а NiO — 2,55%.

На основании этих анализов следует ли считать, что титан и никель одновременно входят в единые пространственные решетки минералов, и нужно ли их тогда рассматривать как параэлементы или нет?

При рассмотрении коллоидальных или дисперсных минералов, особенно, если они обладают слоистой решеткой, можно обнаружить много химических элементов, которые не входят в пространственную решетку минералов, а сорбированы на их поверхности. Такими минералами могут быть захвачены не только ионы или их группы, но и целые минералы, в особенности, если они сильно диспергированы. Так, лейкоксен может быть захвачен при формировании галлуазита или иного подобного минерала. Просматривая литературу по минералогии, замечаем, что титан и никель не входят одновременно в пространственные решетки хорошо окристаллизованных минералов. Хотя А. Е. Ферсман и В. М. Гольдшмидт относили к семейству железа титан и никель, но это было сделано без учета минералогических данных.

Зная, с одной стороны, количество параэлементов вообще и параэлементы, открытые на данном рудном поле, можно сделать некоторые сопоставления; с другой, зная параэлементы данного элемента, можно при изучении рудного месторождения задать вопрос — какие же возможны типы минералов, пропущенные исследователем?

На четырех изученных рудных площадях мы применили параэлементы, чтобы выяснить пути поисков новых минералов (табл. 2). В конечном итоге это помогло нашему коллективу выявить около трехсот минералов и их разновидностей на четырех рудных площадях в Кураминских горах. Это число можно сравнить с количеством минералов, указанных А. Е. Ферсманом для гранитных пегматитов, И. И. Гинзбургом и И. А. Рукавишниковой — для минералов коры выветривания Урала, крупнейшими европейскими минералогами во главе с П. Ниггли — для Швейцарских Альп и т. д.

Если возьмем общее количество параэлементов и сравним его с параэлементами «гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана, то получится: в верхнем ряду — общее количество параэлементов, во втором — параэлементы «гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана, в третьем — их отношение друг к другу или коэффициенты параэлементов. (В количество параэлементов включен и данный элемент, все редкие земли, принятые за единицу, кроме церия, который рассматривается отдельно).

Мы не будем критически рассматривать все элементы этой таблицы; этот вопрос будет детально проанализирован в специальной работе. Здесь же мы отметим лишь некоторые положения, но прежде чем о них говорить расположим элементы «Гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана по убывающему коэффициенту параэлементов. Тогда получится следующий характерный ряд (для удобства коэффициенты умножены на сто и ряды расположены по декадам):

Hf — 100,

Li — 89, Cs — 85, Y — 82, O — 80,

Sc — 78, Si — 74, Ta — 74, Ca — 72,

Be — 68, W — 68, U — 68, P — 67, Nb — 66, Rb — 64,
 Ce — 64, Th — 62, Al — 60,
 TR — 59, Mn — 57, Fe — 56, C — 56, Zr — 53, Na — 50,
 Mg — 49, H — 48, F — 47, K — 45, Ti — 44, Bi — 42, Ra — 42,
 B — 37, Sb — 35, S — 33, Sn — 32,
 Zn — 28, Ba — 28, Mo — 27, Cl — 25, Sr — 25, Pb — 24,
 Cu — 16, V — 12, As — 7, Au — 6.
 Her Ag, Co, Ni, Te, Se, Hg, Pt, Ge, J, Pd, Tl, Ir, Ga, Ru, Rh,
 Os, Br, In, Cd.

Таблица 2

Параэлементы химических элементов Кармазара

Fe 62 35 0,56	0,55 44 0,80	H 52 25 0,48	S 52 17 0,33	Cu 49 8 0,16	Si 43 34 0,74	Ca 46 33 0,72	Pb 46 11 0,24	
Al 45 27 0,60	Na 44 22 0,50	Mn 42 24 0,57	Mg 43 1 0,49	As 40 3 0,07	F 40 19 0,47	K 38 17 0,45	B 38 14 0,37	
Sb 37 13 0,35	Ti 36 16 0,44	P 36 24 0,67	Zn 35 10 0,28	Y 34 28 0,82	C 34 19 0,56	Ba 32 9 0,28	Ce 31 20 0,64	
n 31 21 0,68	Cl 31 8 0,25	V 32 6 0,12	Be 31 21 0,68	Th 29 18 0,62	Nb 29 19 0,66	Zr 28 15 0,53	Sn 28 9 0,32	Bi 28 12 0,42
Sr 28 7 0,25	TR 27 16 0,59	Ta 27 20 0,74	Cr 27 ? ?	Ag 25 0 0	Co 25 0 0	Ni 25 0 0	N 22 0 0	
Mo 22 6 0,27	W 22 15 0,68	Te 21 0 0	Se 19 0 0	Li 19 17 0,89	Au 17 1 0,06	Hg 16 0 0	Sc 18 14 0,78	Pt 15 0 0
Cs 14 12 0,85	Rb 14 9 0,64	Ce 11 0 0	J 11 0 0	Pd 10 0 0	Tl 9 0 0	Ir 9 0 0	Ga 8 0 0	Ru 8 0 0
Ru 8 0 0	Os 8 0 0	Br 8 0 0	Ra 7 3 0,42	In 7 0 0	Cd 6 0 0	Hf 4 4 1,00	Re 3 ? ?	

Параэлементы «Гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана получены в результате выборки химических элементов из формул минералов, приведенных в его труде (10).

Рассматривая наши ряды, замечаем, что А. Е. Ферсман пропустил, вероятно, ряд минералов в «Гранитных пегматитах», поэтому у лития, цезия и, особенно, у рубидия имеются пропуски. Нам казалось, что эти редкие щелочи должны иметь коэффициент параэлементов в пегматитах 100, а у рубидия он падает до 64.

Такие обычные щелочи как натрий и, в особенности, калий отступают на задний план по сравнению с кальцием. Следовательно, в геохимии «гранитных пегматитов» кальций играет большую роль, чем калий и натрий.

Показательны такие пары, как Nb—Ta и Mo—W, в особенности последняя пара. У W коэффициент 68, а у молибдена всего 27. У молибдена радиус атома 1,36, ионов 0,68 и 0,67; у вольфрама радиус атома 1,36 и иона 0,68. Казалось бы, что поведение этих двух элементов должно было быть одинаковым. Однако в условиях пегматитового процесса вольфрам более активен, нежели молибден.

Наиболее резко падает активность таких элементов, как сера — 33, медь — 16, свинец — 24, мышьяк — 7, что вполне понятно: эти элементы характерны для гидротермального процесса.

Эти мы обратим внимание на «агенты-минерализаторы» — анионную часть, то заметим, что фтор имеет коэффициент 47, бор — 37, сера — 33, хлор всего 25, в то время как кремний 74. Обычно считалось, что в условиях пегматитового процесса фтор, хлор и бор играют очень большую роль. Если же проверить данное положение по тем станциям, в которых эти элементы совместно с другими останавливаются, образуя минералы, то общепринятое мнение не подтверждается. Очевидно их геохимическая значимость в подобных условиях невелика.

Проанализируем параэлементы четырех изучаемых нами рудных полей в Кураминских горах.

Для сравнения приведем коэффициенты их параэлементов:

Ni — 100,

Cd — 66, O — 62,

S — 52,

Al — 49, C — 47, Ca — 46, Cl — 45, H — 44, Mn — 43, Zn — 40,

Mg — 37, Pb — 37, Fe — 37, Cu — 36, P — 33, K — 32, Si — 32,

Ag — 28, Na — 27, Mo — 27, Be — 26, B — 26, Ba — 25, As — 25,

F — 25, Co — 24, Ce — 22, Sb — 22, W — 22, Bi — 21,

N — 18, V — 16, Ti — 16, Sr — 14, Zr — 14, Au — 12.

Остальные элементы равны 0 или ?

Необходимо отметить, что наши четыре рудных поля еще недостаточно изучены. Несмотря на то, что на этих площадях найдено и описано около 300 минералов и их разновидностей, примерно такое же количество, как и для «Гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана, однако на этих рудных полях главная масса элементов имеет коэффициент параэлементов менее 50. Автор далек от мысли, что на любых рудных полях должны присутствовать все параэлементы (при коэффициенте, равном 100), но все

же низкий коэффициент параэлементов свидетельствует о слабой изученности района. Понятно, если учесть все минералы Курминских гор, а не только четырех рудных полей, то получится несколько иная картина. В дальнейшем будет составлена такая сводка с учетом всех рудных полей и месторождений.

На основании наших данных, предварительных, можно говорить о том, что коэффициент параэлементов служит дополнительным средством для геохимической характеристики.

В «Гранитных пегматитах» на первом месте, если не считать Hf, у которого всего четыре параэлемента, цезий, иттрий, кислород, скандий и т. д. На рудных полях эти элементы никакой роли не играют.

Для сравнения приводим коэффициенты параэлементов гранитных пегматитов и рудных полей. (Материал расположен по убывающему количеству параэлементов).

<i>Гранитные пегматиты</i>	<i>Рудные поля</i>
Fe—56	37
O—80	62
H—48	44
S—33	52
Cu—16	36
Si—74	32
Ca—72	46
Pb—24	37
Al—60	49
Na—56	27
Mn—57	43
As—7	25
F—47	25
K—45	32
Zn—28	49
Bi—42	21
Ag—0	28
W—68	22
Mo—27	27

Как и следовало ожидать, рудные поля по коэффициенту серы, меди, свинца и цинка резко отличаются от гранитных пегматитов своей величиной. И в том, и в другом случае коэффициент кальция значительно выше, чем у магния, натрия и калия.

Для гранитных пегматитов коэффициент натрия выше, чем калия, а в рудных полях наблюдается обратная картина. Между тем обычно считается, что в гранитных пегматитах геохимическая значимость калия выше, чем у натрия. Коэффициент параэлементов у молибдена одинаков в обоих случаях.

Казалось бы, что гидротермы в рудных полях дадут возможность висмуту проявить большую активность, чем в условиях пегматитового процесса, однако получается иначе.

Для «Гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана параэлементами висмута являются углерод, свинец, ванадий, ниобий, сурьма, тантал, висмут, кислород, сера, хлор и железо, а для рудных полей — медь, серебро, свинец, висмут, кислород и сера.

В гранитных пегматитах висмутовыми минералами являются самородный висмут, висмутин, бисмоклит, бисмит, базобисмутит, бисмутоферит, бокспутит ($6\text{PbO} \cdot \text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CO}_2$), бисмут-танталит, шетелигит ($\text{Ca, Mn, Y, Sb, Bi}_2(\text{Ti, Ta, Nb, W})_2(\text{O, OH})_2$), пухерит ($\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5$).

Возможно, что бисмоклит, т. е. хлорокись висмута, бисмит, базобисмутит, бимутосферит и, может быть, бокспутит являются вторичными минералами и не характерны для собственно пегматитового процесса, но они отмечены у А. Е. Ферсмана, и поэтому включены сюда. Эти минералы можно свободно обнаружить и в других типах месторождений.

На наших рудных полях минералы висмута пока не обнаружены, а найдены только висмутин, галенобисмутит, лиллианит, беегерит, айкиннит, бенжаминит, аляскаит и бисмит. Из вторичных минералов общим является только бисмит. Параэлементов висмута поэтому всего шесть: медь, серебро, свинец, висмут, кислород и сера. Мы вправе рассчитывать на увеличение коэффициента за счет водорода, углерода и хлора, так как здесь возможно нахождение бисмоклита и базобисмутита. С другой стороны, вряд ли возможно содержание в гидротермальном оруденении бисмут-танталита и шетелигита.

В отношении пухерита следует напомнить, что он был найден в висмутовом месторождении Шнеебергского рудного поля. Учитывая нахождение ванадинита, с одной стороны, и первичных минералов висмута на наших рудных полях, с другой, возможно нахождение пухерита и у нас в гидротермальном оруденении.

Переходя к рассмотрению висмутовых минералов наших рудных полей, отметим, что первичными гидротермальными минералами являются висмутин (Bi_2S_3), галенобисмутит (PbBi_2S_4), лиллианит ($\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$) и беегерит ($\text{Pb}_6\text{Bi}_2\text{S}_6$), в химическом отношении отличающиеся друг от друга лишь разным процентным содержанием металлов и серы. Мы их рассматриваем как минералы перемещения в рудном контуре. При добавлении меди в тех же условиях выделяется айкиннит (CuPbBiS_3), а с добавлением серебра — бенжаминит ($\text{CuAg}_2\text{Pb}_2\text{BiS}_9$ или аляскаит ($\text{Ag, Cu}_2\text{PbBi}_4\text{S}_8$). Последние два минерала могут заменять друг друга. Серебро находится в парагенетических отношениях с золотом. Золото в серебряные минералы не входит, а выделяется самостоятельно с некоторым количеством серебра.

В связи с этим в рудном контуре должно находиться и золото, но исследователи его не всегда обнаруживают.

Одним из методов исследования вещества является метод сравнения. Этот метод мы широко применяем, изучая месторождения полезных ископаемых. Мы сравниваем кларки ряда химических элементов определенных горных пород с кларками изучаемых пород, в частности тех, которые подвергались околорудному метаморфизму. Мы детально исследуем минералы как в самих рудных полях, так и в пределах метаморфизованных и в

свежих горных породах. Поиски минералов ведутся целеустремленно, по определенным элементам. Вот здесь на помощь и приходят параэлементы. Зная их, исследователь найдет минералы определенного характера.

Таким образом, учение о параэлементах является не самодовлеющим, а представляет собой одно из звеньев сложной цепи учения о минеральном веществе, без которой оно существовать не может.

Применяя параэлементы для поисков минералов и отдельных элементов, мы значительно облегчаем себе работу. В настоящее время нам слишком мало известны параэлементы отдельных районов и рудных полей. Когда будет накоплено больше фактов в этой области, тогда станет очевидней необходимость их изучения и видней та польза, какую они приносят для познания рудных месторождений. Из наших примеров, когда мы разбирали параэлементы «Гранитных пегматитов» А. Е. Ферсмана и рудных полей, видно, какую большую пользу принесет введение в науку понятие о параэлементах. Это понятие является не лишним, как это считает А. А. Сауков, а напротив, поможет советским геологам разобраться в сложных вопросах геохимии полезных ископаемых.

Геохимики и минералоги должны стремиться к выяснению концентрации вещества в связи с изучением условий образования месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин А. Г. Минералогия, 1950.
2. Бетехтин А. Г. О задачах геохимии, «Вестник АН СССР», 1954, № 6.
3. Бокий Г. Б. Структура растворов, «Успехи химии», 1954, № 5.
4. Вернадский В. И. История минералов земной коры, т. 1, вып. 1, Пет-роград, 1923.
5. Гинзбург И. И., Рукавишников И. А. Минералы древней коры выветривания Урала, М., 1954.
6. Сауков А. А. По поводу статьи А. С. Уклонского «Некоторые вопросы современной минералогии и геохимии», «Известия АН СССР», сер. геол., 1953, № 6.
7. Уклонский А. С. Изоморфные ряды В. И. Вернадского и параэлементы, ДАН УзССР, 1952, № 12.
8. Уклонский А. С. Некоторые вопросы современной минералогии и гео-химии, «Известия АН СССР», сер., геол., 1953 № 6.
9. Уклонский А. С. Об изоморфных рядах В. И. Вернадского и параэле-ментах, ДАН УзССР, 1954, № 7.
10. Ферсман А. Е. Пегматиты. М., 1940.
11. Ahrens L. H. The lognormal distribution of the elements, «Geochim. et Cosmochim. Acta», London, 1954, N 2.
12. Blondel F. Un Aspect de la Mineralogie, Science Naturelle: Les Associations Minerales, Bull. de la S. F. de Mineralogie, Paris, 1954, N 1—3.
13. Hey M. H. An Index of Mineral Species, London, 1950.
14. Strunz H. Mineralogische Tabellen, Leipzig, 1949.

ПАРАЭЛЕМЕНТЫ РЕДКИХ ЩЕЛОЧЕЙ*

В последнее время в технике стали играть большую роль редкие щелочи — литий, рубидий и цезий. Геохимия и минералогия этих щелочей пока еще недостаточно изучены, хотя и имеются подробные сведения о содержании их в разных горных породах и в некоторых минералах. Подробно изучены первичные минералы редких щелочей, содержащиеся в пегматитах, но ничего не известно об участии их в гидротермальном процессе, дальнейшей миграции и концентрации или рассеянии в осадочных толщах.

Для понимания геохимии редких щелочей автор сообщает предварительные данные об их параэлементах. Прежде чем об этом говорить, необходимо остановиться на стоимости этих элементов и распространенности в земной коре.

Среднее содержание редких щелочей в горных породах, вес. %:

По А. П. Виноградову (1)

	Li	Rb	Cs
Силикатная фаза хондритов	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Ультраосновные породы	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	—
Основные породы	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	—
Средние породы	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	—
Кислые породы	$7 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
Осадочные породы	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$

По Д. Грину (2)

	г/т		
Метеоритные силикаты	300	1,0	0,1
Изверженные породы	65	350	7
Песчаники	17	273?	—
Глинистые сланцы	46	283	7,6
Известняки	>26	0?	—

По данным Д. Грина, приводим цены в США 1953 г. (долларов за грамм): золото=2,50, литий=2,50, рубидий=15, цезий=13.

ЛИТИЙ — 6,940

Радиус атома — 1,52, объем — 14,61, радиус иона — 0,68, объем — 1,32. По Гольдшмидту, Ранкам и Сахама (3, 4), радиус иона — 0,87, соответствующий магнию.

Изотопов два (двизотоп): 6—7,6%, 7—92,6% (2).

Всего известно 19 параэлементов лития:

I — водород, литий, натрий, калий, рубидий, цезий; II — бериллий, магний, кальций, стронций; III — бор, алюминий; IV —

* Опубликовано в ДАН УзССР, 1956, № 9, с. 9—12.

кремний; V — фосфор; VI — кислород; VII — фтор, марганец; VIII — железо, кобальт.

Литий добывается из сподумена $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, содержащего 3,1% лития. За последнее время стали обращать внимание на амблигонит LiAlFPO_4 (4,7%) или монтебрасит $\text{LiAlPO}_4(\text{OH})$ (гебронит); имеется их натровая разновидность или фремонитит $(\text{Na}, \text{Li})\text{AlPO}_4(\text{OH}, \text{F})$. Рекомендуются еще литиевые слюды — лепидолит, циннвальдит и др., такой алюмосиликат, как петалит, фосфаты — трифилин, литиофиллит и др.

Указывается на значительное содержание лития в обычных мусковите и биотите, которые находятся по соседству с пегматитами (3). Отмеченные и другие минералы, содержащие литий, приурочены к пегматитам. В гидротермальных образованиях литиевые минералы не указываются, но они возможны. В минералах листовой структуры, таких как серицит, антигоритовый змеевик, литий может задержаться совместно с калием и магнием в одной и той же решетке. В этом отношении интересны плотные разности агальматолитового типа, состоящие из слюд, хлоритов или змеевиков.

Что касается осадочного цикла, то следует отметить, что кроме глауконита, в котором содержание лития бывает 161 г/т (4), бурых железняков и осадочных марганцевых руд, литий добывается из солей озера Сирлес в Калифорнии, где он залегает в виде фосфата, ближе не определенного (4,5%). Вероятно, в соляных отложениях литий концентрируется в перемещенных солях. Существование карбонатов, сульфатов и хлоридов лития возможно.

РУБИДИЙ — 85,48

Радиус атома — 2,43, объем — 60,10, радиус иона — 1,47, объем — 13,31 (2). По другим данным, радиус иона — 1,49 (4). Изотопов два: 85 — 72,2%, 87 — 27,8; β -распад.

Параэлементов рубидия 14:

I — водород, литий, натрий, калий, рубидий, цезий; II — бериллий, магний; III — бор, алюминий; IV — кремний; V — нет; VI — кислород; VII — фтор; VIII — железо.

Рубидий, в противоположность литию и цезию, не имеет своих самостоятельных минералов, но, благодаря вхождению его в решетки алюмосиликатов и главным образом полевых шпатов, его общее количество в изверженных породах больше, чем лития и цезия. Обычно рубидий сопровождает литий в слюдах и в других минералах. Совершенно неизвестно поведение рубидия в гидротермальном процессе. Учитывая, что у рубидия радиус иона сравнительно близок к калию и в два раза больше, чем у магния, при кристаллизации слоистых решеток возможен его захват с калиевыми и магниевыми слюдами и так называемыми «рудными глинками».

Концентрация рубидия, как и лития, возможна в соляных отложениях, где она не будет равномерно распределяться среди соленосной толщи, а будет концентрироваться совместно с перемещенными калиевыми и магниевыми минералами, например, с карналлитом.

ЦЕЗИЙ — 132,91

Радиус атома — 2,62, объем — 75,33, радиус иона — 1,67, объем — 19,51 (2); по данным других авторов, радиус иона — 1,65 (4). Цезий моноизотоп 133 — 100%.

Параэлементов цезия 14:

I — водород, литий, натрий, калий, рубидий, цезий; II — бериллий, магний; III — бор, алюминий; IV — кремний; V — нег; VI — кислород; VII — фтор; VIII — железо.

У цезия и рубидия одинаковые параэлементы, но их геохимическая судьба несколько разная; так, цезий образует самостоятельный минерал поллуцит с 34,4% Cs. Кроме того, он концентрируется в авогадрите, амазоните, лепидолите, берилле, розиците и др. минералах. В гидротермах он не изучен, но возможен. Накапливается он и в галогенезе в перемещенных минералах.

Рассматривая параэлементы редких щелочей, замечаем, что все они могут входить в решетки минералов совместно друг с другом и с обычными щелочами — натрием и калием.

Поведение второй группы элементов уже иное: бериллий и магний являются параэлементами всех редких щелочей, а кальций — только лития. Бор — параэлемент всех редких щелочей, а фосфор — только лития, что вызывает сомнение. Углерод, сера и хлор не входят в параэлементы всех редких щелочей.

Все говорит о том, что редкие щелочи являются типичными пегматитовыми элементами кислых и щелочных магм. Если рассматривать последние как продукт ассимиляции соленосных толщ кислыми магмами, то можно считать, что редкие щелочи приурочены к кислым магмам. Хотя редкие щелочи и не входят в нормальный галогенез, но конечный этап их миграции заканчивается в соленосных толщах образованием фосфатов или боратов, в связи с перемещением вещества.

Геохимическая близость всех щелочей, в особенности редких, с одной стороны, и простота их изотопного состава, с другой, за исключением калия, говорит о том, что они образовались или появились в последнюю стадию формирования земли как планеты — в сиале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А. П. Закономерность распределения химических элементов в земной коре, Геохимия. 1956, № 1.
2. Green I. Geochemical table of the elements for 1953. Bulletin of the Society of America, 1953, 9.
3. Goldschmidt V. M. Geochemistry. Oxford, 1954.
4. Rankama K., Sahama Th. Geochemistry, Chicago, 1952.

О ГЕОХИМИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ ИЗОБАР*

Изобарами называются такие химические элементы, которые имеют одинаковое массовое число, но разное количество протонов и нейтронов. Например, цинк имеет пять устойчивых изотопов с массовыми числами 64, 66, 67, 68 и 70. Все они состоят из 30 протонов и нейтронов, дополняющих массовое число, т. е. 34, 36, 37, 38 и 40. Последний изотоп цинка является изобаром одного из изотопов германия с массовым числом 70, но с количеством протонов 32 и нейтронов 38. Геохимики при объяснении миграции химических элементов в земной коре рассматривают внутренние и внешние факторы, не учитывая значения изобар. Развивая учение В. И. Вернадского о парагенезисе химических элементов в природе, автор пришел к выводу, что можно объяснить ряд случаев совместного нахождения элементов в минералах и рудных месторождениях, если принять во внимание изобары устойчивых изотопов. Это явление следует назвать изобарическим парагенезисом.

Кроме того, при концентрации природных радиоактивных веществ возможно образование неустойчивых изотопов, которые, в свою очередь, перейдут в устойчивые, дополняя изобарический парагенезис рассеянными элементами.

Необходимо отметить, что в природе существует гравитационная дифференциация, с которой считаются при рассмотрении магматических явлений. Однако она существует не только в расплавах, но и в растворах, поднимающихся от магмы с больших глубин к поверхности; в них происходит расслоение с образованием особых гравитационных фракций, в которых атомы концентрируются не только по удельному, но и по атомному весу. В этих же условиях, возможно, происходит и частичное расслоение изотопов, но полное их разделение не наблюдается. Несмотря на то, что процентное содержание некоторых изотопов бывает небольшим, их изобары способствуют совместной концентрации этих элементов в гравитационных фракциях. При изменении температуры, а чаще при смешении раствора или вхождении в него новых компонентов, совместно выпадают те элементы, которые имеют общие изобары, образуя своеобразный парагенезис. При этом процессе равнообъемные ионы будут входить в единые пространственные решетки минералов, а разнообъемные — в различные протокристаллы. Если протокристаллов будет сравнительно мало, что относится к редким и рассеянным, то они, в свою очередь, будут запакованы в более распространенные минералы, такие, как пирит, халькопирит, галенит или сфалерит. При большой разнице в объемах ионов и при их разной химической характеристике они могут, как параэлементы, образовать мине-

* Опубликовано в ДАН УзССР, 1958, № 10.

ралы, занимая в кристаллической решетке свои собственные места.

Для пояснения нашего положения приведем изобары устойчивых изотопов (цифрой обозначено массовое число):

K—40, Ca—40
Ca—46, Ti—46; Ca—48, Ti—48
Ti—50, V—50, Cr—50
Cr—54, Fe—54,
Fe—58, Ni—58,
Zn—70, Ge—70,
Ge—74, Se—74; Ge—76, Se—76
Rb—87, Sr—87
Y—89, Zr—89
Zr—93, Nb—93
Mo—96, Ru—96; Mo—98, Ru—98; Mo—100, Ru—100
Ru—102, Pd—102; Ru—104, Pd—104
Cd—113, In—113
In—115, Sn—115
Sn—120, Te—120; Sn—122, Te—122; Sn—124, Te—124
Ba—138, La—138, Ce—138
Ce—142, Nd—142
Nd—144, Sm—144; Nd—148, Sm—148; Nd—150, Sm—150
Sm—152, Gd—152; Sm—154, Gd—154
Gd—156, Dy—156; Gd—158, Dy—158
Dy—162, Er—162; Dy—164, Er—164,
Er—168, Yb—168; Er—170, Yr—170,
Yb—174, Hf—174; Yb—176, Lu—176, Hf—176
Os—192, Pt—192;
Hg—202, Pb—202; Hg—204, Pb—204

В полиметаллических месторождениях обычен парагенезис цинка и германия. Селен является параэлементом германия. В них же часто с кадмием идет индий. В ряде оловорудных месторождений наблюдается парагенезис олова и индия. Минерал колузит содержит одновременно олово и теллур. Часто жильный барит в районах гидротермальных месторождений содержит редкие земли, которые, казалось бы, должны были приурочиваться к пегматитам. Наблюдается взаимная связь бария через церий почти со всеми редкими землями и даже с гафнием. В целестиновых месторождениях мы вправе искать рубидий; в молибденовых — рутений. Видна отчетливая генетическая связь иттрия, циркония и ниобия.

Приведенные примеры наглядно показывают, что существует изобарический парагенезис химических элементов, способствующий их совместному нахождению и миграции.

Таким образом, геологи-разведчики получают новое теоретическое обоснование для поисков ряда элементов.

ИЗОТОНИЧЕСКИЙ ПАРАГЕНЕЗИС ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ*

Изотонами называются нуклиды (нуклоны) с одинаковым числом нейтронов, которые можно было назвать изонейтронами. Геохимики на них не обращали внимание, так же как и на изобары, хотя они играют заметную роль в парагенезисе химических элементов в земной коре (1).

В земле существуют изотоны (цифрой обозначено количество нейтронов):

D 1—He 1
Be 5—B 5
B 6—C 6
C 7—N 7
C 8—N 8—O 8
O 10—F 10—Ne 10
Ne 12—Na 12—Mg 12
Mg 14—Al 14—Si 14
Si 16—P 16—S 16
S 18—Cl 18—Ar 18
S 20—Cl 20—Ar 20—K 20—Ca 20
Ar 22—K 22—Ca 22
Ca 24—Sc 24—Ti 24
Ca 26—Ti 26—Cr 26
Ca 28—Ti 28—Fe 28
Ti 27—V 27
Ti 28—V 28—Cr 28
Cr 30—Mn 30—Fe 30—Ni 30
Cd 66—In 66—Sn 66
Cd 68—Sn 68—Te 68
Sn 70—Sb 70—Te 70—Xe 70
Sn 72—Sb 72—Te 72—Xe 72
Sn 74—Te 74—J 74—Xe 74—Ba 74
Te 76—Xe 76—Ba 76
Te 78—Xe 78—Ba 78—Ce 78
Xe 80—Ba 80—Ce 80
Xe 82—Ba 82—Ce 82—Pr 82—Nd 82—Sm 82
Ce 84—Nd 84
Nd 85—Sm 85
Nd 86—Pm 86—Sm 86
Nd 88—Sm 88—Eu 88—Gd 88
Nd 90—Sm 90—Eu 90—Gd 90—Dy 90
Sm 92—Gd 92—Dy 92
Gd 94—Tb 94—Dy 94—Er 94
Gd 96—Dy 96—Er 96
Dy 98—Ho 98—Er 98—Yb 98
Er 100—Tm 100—Yb 100
Er 102—Yb 102—Hf 102

* Опубликовано в ДАН УзССР, 1959, № 5.

Fe 32—Co 32
 Ni 34—Cu 34—Zn 34
 Ni 36—Cu 36—Zn 36
 Zn 38—Ga 38—Ge 38
 Zn 40—Ga 40—Ge 40—Se 40
 Ge 42—Ar 42—Se 42—Kr 42
 Ge 44—Se 44—Br 44—Kr 44
 Se 46—Br 46—Kr 46—Sr 46
 Kr 48—Rb 48—Sr 48
 Kr 50—Rb 50—Sr 50—V 50—Zr 50—Mo50
 Zr 52—Nb 52—Mo 52—Ru 52
 Zr 54—Mo 54—Ru 54
 Zr 56—Mo 56—Tc 56—Ru 56—Pd56
 Mo 55—Ru 55
 Mo 58—Ru 58—Rh 58—Pd 58—Cd58
 Ru 60—Pd 60—Ag 60—Cd 60
 Pd 62—Ag 62—Cd 62—Sn 62
 Pd 64—Cd 64—In 64—Sn 64
 Cd 65—Sn 65
 W 100—Re 110—Os 110
 W 112—Re 112—Os 112—Pt112
 Os 114—Ir 114—Pt 114
 Os 116—Ir 116—Pt 116—Hg116
 Pt 118—Au 118—Hg 118
 Pt 120—Hg 120—
 Hg 122—Tl 122—Pb 122
 Hg 124—Tl 124—Pb 124
 Tl 125—Pb 125
 Tl 126—Pb 126—Bi 126—Po126
 Tl 127—Bi 127—Po 127
 Tl 129—Pb 129—Bi 129
 Pb 130—Po 130
 Bi 131—Po 131—At 131
 Pb 132—Po 132—At 132
 Pb 134—At 134—Ra 134
 Ra 136—Er 136—Pa 136
 Ra 138—Ac 138—Th 138
 Yb 104—Lu 104—Hf 104
 Yb 106—Hf 106—W 106
 Hf 108—Ta 108—W 108—Os108
 Ra 140—Th 140—Pa 140
 Th 142—U 142
 Th 144—Np 144
 Pu 148—Am 148—Bk148—Cf148

При рассмотрении этой таблицы замечаем, что такие элементы, как редкоземельные, легкий и тяжелый ряд платины, радиоактивные, как и следовало ожидать, имеют изотонический парагенез. Из остальных элементов интересны следующие ряды.

1. Кислород, фтор, неон с изотонами 10. Если не считать неон, который не входит в пространственные решетки минералов, а рассматривать только кислород и фтор, то следует отметить, что в их парагенезисе имеют значение не только одинаковые радиусы ионов 1, 33 Å, но и их изотоны.

2. Магний, алюминий и кремний с изотонами 14; этот ряд изотонов подтверждает обычный их парагенезис, который наблюдается главным образом у минералов с листовой структурой (слюда, хлориты и др.).

3. Кремний, фосфор, сера с изотонами 16; известны кремнекислородные тетраэдры, входящие в ряд минералов, и такие же тетраэдры, содержащие фосфор и серу, например:

апатит $\text{Ca}_5[(\text{F}_1\text{OH}_1\text{Cl})|(\text{PO}_4)_3]$ с тетраэдрами $[\text{PO}_4]$,
вилкеит $\text{Ca}_5[(\text{F}_1\text{O})|(\text{PO}_4\text{SiO}_4, \text{SO}_4)_3]$ с тетраэдрами $[\text{PO}_4]$, $[\text{SiO}_4]$, $[\text{SO}_4]$
эллестадит $\text{Ca}_5[(\text{OH})(\text{SiO}_4, \text{SO}_4)_3]$ с тетраэдрами $[\text{SiO}_4]$ и $[\text{SO}_4]$.

4. Кальций, скандий и титан; изобарический парагенезис дают только кальций и титан, здесь же добавляется еще и скандий. Спектральными анализами скандий часто открывается в кальциевых титаносиликатах.

5. Никель, медь и цинк с изотонами 34 и 36; цинк, галлий и германий — 38; цинк, германий, селен — 40; германий, мышьяк, селен; криптон — 42; германий, селен, бром, криптон — 44.

Этот парагенезис наблюдается в полиметаллических месторождениях; он является дополнительным к изобарическому и подтверждает его.

6. Криптон, рубидий, стронций — 48; криптон, рубидий, стронций, иттрий, цирконий, молибден — 50.

Изобарический парагенезис: рубидий, стронций — 87; иттрий, цирконий — 89.

Рубидий и стронций являются параэлементами иттрия, циркония и ниобия. В минералах, содержащих эти элементы, следует искать и молибден.

7. Интересен парагенезис молибдена и рутения.

8. Уже давно имеются сведения о нахождении легкого платинового ряда вне ультраосновных пород. Изотоны рутения и палладия, с одной стороны, серебра и кадмия, с другой, а также кадмия, индия и олова говорят о возможном их совместном нахождении в полиметаллических месторождениях.

9. Изотоны индия, олова, сурьмы и теллура повторяют изобарический парагенезис.

10. Изотоны бария и редких земель соответствуют их изобарам и объясняют их парагенезис.

11. Изотоны ртути, таллия и свинца, таллия, свинца, висмута указывают на возможную концентрацию таллия в верхних зонах гидротерм.

Не разбирая остальные ряды изотонов, отметим, что изобарический и изотонический парагенезисы помогают нам объяснить совместное нахождение в природе ряда химических элементов.

К ГЕОХИМИИ САМОРОДНОЙ СЕРЫ*

В последнее время самородная сера — не только специфическое минеральное сырье, но и источник получения чистой серной кислоты — снова привлекла внимание специалистов. В начале тридцатых годов текущего столетия колчеданная сера вытеснила самородную, но позднее выяснилось, что она содержит примеси, которые технически трудно отделяются.

В двадцатых годах мы установили особый тип образования самородной серы, обусловленной деятельностью нефтяных вод, назвав это явление парагенезисом серы и нефти. Парагенезис многократно критиковали и до сих пор его не принимают некоторые крупные ученые. В свое время мы дали ряд прогнозов и практических указаний, которые полностью подтвердились: например, Газлинское месторождение газа, которое в то время мы считали нефтяным (теперь там открыта и нефть). Не только у нас, но и за рубежом парагенезис серы и нефти постоянно подтверждается на практике. В этой связи следует обратить внимание на работы научной школы В. И. Попова, которая не только приняла его, но и творчески развивает.

Однако некоторые авторы (1, 2, 4) игнорируют его или отрицают.

Л. В. Пустовалов (4) справедливо отмечает, что необходимо уделить больше внимания месторождениям полезных ископаемых осадочного типа; кроме того, он прав, что значение эндогенных месторождений преувеличено. Однако эти правильные положения не подкрепляются прогнозами, поэтому все рассуждения этого автора носят чисто академический характер. Так, критикуя П. Рамдора, Л. В. Пустовалов также не дает своей систематики полезных ископаемых осадочного типа. Между тем, в первую очередь их следует делить на сингенетические и эпигенетические типы и уже в дальнейшем на подтипы. Необходимо отметить, что серные, селеновые, урановые, главная часть медных и других металлических ископаемых, а также нефть, газ и др. относятся к эпигенетическим образованиям. Да и в самих сингенетических месторождениях (например, каменная соль) происходит последующее перемещение вещества с образованием новых типов минерализации; уголь относится к сингенетическим образованиям, а каолин, связанный с ним, — к эпигенетическим. Все это можно понять только на основании минералого-геохимического изучения месторождений полезных ископаемых.

Кроме того, технологи хотят знать не только химический состав руды, но и минералогический, так как при обогащении и плавке минералы ведут себя по-разному.

Л. В. Пустовалов, будучи учеником знаменитого минералога Я. В. Самойлова, не уделяет достаточного внимания минералогии.

* Опубликовано в «Узб. геол. ж.», 1964, № 6, с. 5—10.

Это объясняется, по-видимому, тем, что в последнее время минералогия отошла от геохимии и стала базироваться исключительно на кристаллохимии. Не отрицая значения кристаллохимии, которая помогает объяснить многие минералогические закономерности, следует отметить, что в основе нашего понимания Природы лежит не структура, а само вещество. Структурная минералогия не помогает выяснению генезиса полезных ископаемых, поэтому геологи ее начинают игнорировать. Это не способствует развитию науки о полезных ископаемых и прогнозированию их в широком и в узком масштабах. Мы рассматриваем минералы как твердые тела и представляем их как станции на пути движения химических элементов в земной коре. Твердые тела — минералы, жидкие — вода, нефть и др., газообразные — воздух, нефтяной газ, углекислота. Кислород, азот, гелий и др. — объекты изучения геохимии, а не литологии. Геохимия в основном должна базироваться на минералогии. Минералы являются доказательством происшедшей здесь работы воды и газа. Эти геологические явления, наблюдавшиеся и в прошлом и в настоящее время, свидетельствуют о вечном движении веществ. Поэтому одно из основных «направлений дальнейшего развития геологической науки» — усиление минералогических работ, на базе которых можно создать новые гипотезы образования полезных ископаемых. Не рассматривая более подробно научные положения, развиваемые Л. В. Пустоваловым, остановимся на некоторых предложениях П. М. Мурзаева о новых поисковых признаках нахождения самородной серы.

П. М. Мурзаев тридцать лет занимался вопросами генезиса самородной серы. Однако нам неизвестно ни одно промышленное серное месторождение, которое бы он прогнозировал. В настоящее время предполагается не использование «парагенезиса серы и нефти», как ведущего принципа в поисках серы, нефти и газа, а изучение изотопного состава серы, гипса и известняка. Все это очень интересно, но физики еще не предложили экспресс-метод для данных целей. При помощи масспектрографа в хорошо оснащенных лабораториях можно делать только десятки определений в год. Для поисковых же работ требуются сотни определений, что практически пока трудно осуществить. Кроме того, вероятность успеха чрезвычайно мала, так как в природе существует перемещение вещества, в том числе изотопов.

В монографии М. В. Иванова (1), докторская диссертация которого посвящена роли микробиологических процессов в генезисе месторождений самородной серы, отмечено: «Наиболее четко возражения против теории сингенетического образования месторождений серы сформулированы в монографии А. С. Уклонского (1940). Эти возражения сводятся к трем основным пунктам: ...1. Само существование самородной серы в донных отложениях Черного и других морей еще не доказано. Гораздо более характерными компонентами морских иловых отложений являются сульфиды. 2. ...фактических данных по содержанию значительных ко-

личеств серы в илах современных водоемов сторонники биогенной теории не приводят. З. ...мы до сих пор еще очень мало знаем об интенсивности микробиологических процессов в природных условиях».

Далее М. В. Иванов отвечает на эти положения. Оказывается за 24 года после выхода в свет книги «Парагенезис серы и нефти» «биолитчики» смогли привести в защиту своих положений только четыре примера:

- 1) отложение серы на берегу Бенгальского залива;
- 2) Киренаикские озера в Ливийской пустыне;
- 3) серное озеро близ Куйбышева;
- 4) озеро Эйр в Австралии.

Немного же примеров приведено для опровержения парагенезиса серы и нефти. Как известно, советские и индийские геологи нашли нефть на берегу Бенгальского залива. Если они не нашли ее близ деревни Кона, где имеется сера, то найдут ее в ближайшее время.

В Киренаикских озерах М. В. Иванов отмечает сероводород и воды нефтяного типа. Так называемые «хамамы» — бани — горячие минеральные сероводородные источники являются спутниками нефти. Воды серного озера близ Куйбышева нефтяного происхождения. Это район нефти и серы (Водино).

О серных желваках с оз. Эйр в Австралии данных немного. Несколько непонятно в тексте М. В. Иванова (с. 189) следующее: «...вся эта гипсоносная глинистая толща содержит остатки остракод фораминифер и хары и относится к древнечетвертичному образованию, которые залегают на плейстоценовых доломитизированных породах...». Надо полагать, что приведенная фраза указывает на эпигенетичность серы, так как в сероводородной среде остракоды и др. не живут.

На стр. 187 М. В. Иванов пишет, что выдвинутые в свое время А. С. Уклонским (1940) доводы против сингенеза самородной серы могут считаться отведенными. Но это, как видно, не так. Я не отвергаю существования серобактерий, но они сегодня поселились на месторождениях самородной серы, в лабораториях и музеях, где хранятся образцы серы. Они имеются всюду, это не отрицается. Однако стерильную обстановку получить очень трудно, с чем следует считаться микробиологам.

Как может сохраниться сера в самородном виде от палеозоя до наших дней? Если находят серу в пермских, юрских, меловых и третичных отложениях, то считают, что она такого же возраста, как и вмещающие породы. Могла ли активная сера сохраниться в этих месторождениях многие миллионы лет? Могли ли в ней сохраниться химические микропримеси и ее изотопный состав в том виде, как это было в прошлые геологические эпохи?

В. И. Вернадский писал, что сера в своих месторождениях является новообразованием, т. е. эпигенетична к вмещающим породам. В Шорсу мы исследовали (7) 38 образцов серы из разных го-

ризонтов как на глубину, так и по простираию. Спектральный состав отдельных проб различный. Вероятно и изотопный состав серы, как и в Сицилии (9), будет неодинаков, что связано с перемещением вещества внутри рудного контура. Сера растворяется в нефти и снова выделяется из нее, но уже с иным спектральным и изотопным составом. Что же является в познании месторождения наиболее надежным признаком? Парагенный ряд минералов. На месторождении имеется ассоциация минералов и парагенный ряд. Под ассоциацией мы понимаем всю совокупность минералов на месторождении, образовавшихся в разное время, а под парагенным рядом такой ряд, который обязан своим происхождением единому процессу формирования месторождения.

Ниже приводится список минералов серного месторождения Шорсу с подразделением их на разные категории. Сульфатные минералы, образованные в результате окисления серы, мы относим к парагенным минералам. Нахождение алунита и сопровождающих парагенных минералов указывает на «шляпу» серного месторождения.

МИНЕРАЛЫ ШОРСУ

Минералы кремния. Ассоциация — кварц, кварцин, халцедон, опал (сиштофит), ортоклаз, микроклин, плагиоклазы, каолин, монтмориллонит (бентонит), биотит, мусковит, хлорит, глауконит, гранат, эпидот, диопсид, амфибол. Парагенные — халцедон, опал, монтмориллонит (бентонит).

Минералы алюминия. Ассоциация и парагенные — алунит, левигит, игнатъевит, калинит, магниальный калинит, мендоцит, пиккерингит, галотрихит, темаругит, шорсуит.

Минералы углерода. Акцессорные и парагенные — озокерит и ближе неопределенные органические минералы, связанные с нефтью.

Минералы азота. Ближе не определены, но имеются.

Минералы серы. Ассоциация и парагенезис — самородная сера и пирит.

Минералы фосфора. Ассоциация — апатит.

Минералы бора. Ассоциация — турмалин, улексит, пробертит.

Минералы хлора, брома, йода. Ассоциация и парагенезис — галит.

Минералы натрия. Ассоциация и парагенезис — мирабилит.

Минералы калия. Не выяснены.

Минералы кальция. Ассоциация и парагенезис — кальцит, арагонит, гипс, полугидрат, ангидрит.

Минералы магния. Ассоциация и парагенезис — доломит, кизерит, эпсомит, гексагидрит.

Минералы железа. Ассоциация — магнетит, гематит, лимонит, ферринатрит, мелантерит, билинит. Парагенезис — ферринатрит, билинит.

Минералы марганца. Ассоциация — псиломелан.

Минералы ванадия. Не выяснены.

Минералы стронция. Парагенезис — целестин.

Минералы бария. Парагенезис — барит.

Минералы, начиная от фтора до свинца, не выяснены.

Минералы свинца. Еще в начале тридцатых годов Ю. М. Коршунова химически открыла свинец в мергелях L—K, позднее был обнаружен галенит (парагенный).

Минералы цинка. Парагенезис — сфалерит.

Далее минералы от кадмия до циркония неизвестны. Отмечен один бериллиевый минерал, что вызывает сомнения.

Минералы циркония. Ассоциация — циркон.

Минералы редких земель. Не отмечены.

Минералы титана. Ассоциация — рутил, лейкоксен, ильменит.

Минералы хрома. Ассоциация — хромит.

Группа платиновых и радиоактивных минералов не выяснена.

Приведем спектральный состав серы Шорсу на основании 38 определений: натрий, медь, магний, кальций, стронций, барий, бор, алюминий, углерод, кремний, титан, марганец, железо. Как уже отмечено, не все эти элементы присутствуют во всех пробах.

Парагенные минералы являются ведущими при поисках серы и нефти. Кроме того, следует обратить внимание на воду гипса. Утяжеленный суммарный изотопный состав воды гипсов — один из индикаторов участия нефтяных вод. В отличие от определения изотопов серы или углерода в процессе образования гипса метод определения суммарного изотопного состава воды гипсов может стать более быстрым и массовым.

С. Д. Пирсон (3), давая новое направление в развитии геохимических методов поисков нефти, отмечает, что существует вертикальная миграция пластовых вод, нефтяного газа и нефти, идущих с больших глубин — 3000 м и более. При охлаждении таких вод близ земной поверхности вокруг нефтяных залежей происходит зональное расположение солей. Перечисленные работы специалистов по нефти все дальше отходят от старых представлений о сингенетических залежах нефти. Однако Пирсон не отмечает изменения характера вод в связи с их контактом с газом и нефтью. А на этом контакте происходит радикальное изменение воды, из которой выделяются минералы, парагенные данному процессу.

Основная схема парагенезиса серы и нефти остается в силе даже при условии принятия за основу формирования Земли минералогической гипотезы, предложенной нами (8). Нефть и газ могли образоваться еще в «азойскую эру», когда возникли первые водоемы с растительностью. В дальнейшем эти «азойские образования» были метаморфизованы и превращены в «изверженные породы» гранитного типа или в гнейсы. Газ мигрировал в вышележащие толщи, а остатки нефти превратились в графит. Парагенные минералы серы и нефти сильно метаморфизовались. Их можно

обнаружить по нарушению обычного парагенезиса минералов «изверженных» и метаморфических пород.

Материнские нефтеобразующие свиты следует опускать до кембрия и даже ниже его в «азой». Так, в Сахаре нефть и газ добываются с глубин более 3000 м. Однако нефть и газ могут образовываться от «азоя» до наших дней. Например, в дельтах больших рек, при впадении в море, формируется новейшая нефть. Старое представление о сингенетичности нефти во вмещающих свитах не оправдало себя. По нашей геохимической схеме парагенным данному процессу является сероводород, который надо рассматривать как полезное ископаемое, а не бедствие. Сероводород следует использовать для получения элементарной серы или непосредственно серной кислоты высокого качества.

Необходимо пересмотреть отработанные серные месторождения, в частности Шорсу, для получения из газовых струй и подземных вод, содержащих сероводород, элементарной серы и чистой серной кислоты.

Где же надо искать самородную серу и сероводород?

Раньше мы отмечали, что «там где много нефти, там мало серы и там, где много серы мало нефти». Прибавим к этому: «там где нефть или нефтяной газ, там и сероводород». Поиски этих двух видов полезных ископаемых должны вестись параллельно.

Нефтяники уже наметили контуры регионов, где следует искать нефть; они частично совпадают с теми, о которых я писал в 1940 г. в работе «Парагенезис серы и нефти». Теперь они расширились. Сероводород пока не используется нашей промышленностью, а ведь его, даже без участия микробов, можно окислять до элементарной серы или до серной кислоты.

Просматривая мировую литературу, в которой имеются описания минералов, относимых мной к парагенному ряду серы и нефти, я заметил, что в недрах Земли еще имеются огромные запасы серы, сероводорода и нефтяного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов М. В. Роль микробиологических процессов в генезисе самородной серы, М., 1964.
2. Мурзаев П. М. О новых поисковых признаках серы, «Советская геология», 1964, № 5.
3. Пирсон С. Д. Новое направление в развитии геохимических методов поисков нефти, М., ГОСИНТИ, 1962.
4. Пустовалов Л. В. О состоянии и основных направлениях дальнейшего развития геологической науки, «Советская геология», 1964, № 8.
5. Рудонские осадочные формации и рудная зональность артезианских нефтяных бассейнов Средней Азии. Труды проблемной лаборатории осадочных формаций и осадочных руд, ТашГУ, вып. III, Л., 1964.
6. Уклонский А. С. Парагенезис серы и нефти, Ташкент, 1940.
7. Уклонский А. С., Акмаева Ф. И. Спектральные исследования самородной серы, ДАН УзССР, 1965, № 1.
8. Уклонский А. С. О минералогической гипотезе образования Земли, Труды ТашГУ, вып. 234, 1964.

ОДНА ИЗ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ ГЕОХИМИИ — ИЗУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВА*

Перед советской научной общественностью поставлена задача создания большой химии. В этом благородном деле принимают участие все ученые нашей страны, в том числе геохимики. Для большой химии нужна минерально-сырьевая база, поэтому на очередь ставится вопрос об изучении геохимиками процессов концентрации вещества в природе, в результате чего образуются месторождения полезных ископаемых.

В природе вещество может концентрироваться — в следующих условиях:

- 1 — в газовых струях — нефтяной газ, сероводород, углекислота, инертные газы, азот и др.;
- 2 — в жидкостях — нефть, водные соляные растворы;
- 3 — в твердом теле — различные минералы, скапливающиеся в месторождениях полезных ископаемых;
- 4 — в живых организмах, при отмирании которых в осадочных толщах они концентрируются.

Для создания большой химии на службу сельского хозяйства необходима в первую очередь основная химия, т. е. изготовление кислот и щелочей, а затем на их базе получение удобрений — азота, калия, фосфора и других.

Азотная кислота и азотные удобрения теперь получают из воздуха; таким образом, данная проблема благополучно решена. Необходимо использовать азотные струи. Остается вопрос о дешевой энергии. Я, как геолог, могу рекомендовать использование горячей или перегретой воды, залегающей повсеместно на глубинах свыше трех километров. Вероятно, для некоторых районов, расположенных в горах, это будет самый дешевый вид энергии.

Проблемы калия, натрия и соляной кислоты связаны между собой. У нас они почти полностью решены. Выявлены соленосные провинции, установлены закономерности их формирования. Нужна некоторая детализация вопросов о редких щелочах, литии, рубидии и цезии, о боре, о броме и йоде, а также о некоторых редких элементах. Однако геохимия хлора как таковая еще полностью не решена. Следует напомнить, что кларк хлора 200 г/т, а количество его паразитов не больше 32, в то время как у углерода их 35. Это свидетельствует о позднем попадании хлора на землю. Соляные растворы содержат много ценных химических элементов, и минерализация их бывает очень высокая. В 1925 г. автор нашел маленькое озеро в Голодной степи, в котором концентрация солей была 450 г/л. В дальнейшем В. И. Вернадский высказал сомнение по этому поводу, но он не учитывал высокой летней температуры и сильных ветров в Голодной степи.

* Опубликовано в кн. «Проблемы геологии и полезные ископаемые», Ташкент, ТашГУ, вып. 273, 1966, с. 5—7.

Теперь в некоторых глубоких скважинах обнаружены рассолы с содержанием 546 г/л. Каждая такая буровая скважина представляет собой химический завод. При рассмотрении таких рассолов необходимо учитывать температуру воды. Пустынные части нашей страны являются химическими кладовыми для растворимых солей.

При изучении соляных месторождений геохимикам не следует забывать, что кроме физико-химических законов выпадения солей из растворов, так блестяще установленных школой академика Н. С. Курнакова, существует еще последующее перемещение вещества в соленосной толще, которое происходит непрерывно. Такое перемещение изменяет всю первичную картину солеобразования. Для Туркмении еще надо учитывать межпластовое испарение соляных растворов, а для полярных областей их вымораживание.

Вопрос о фосфоре более или менее благополучно решен. Имеются грандиозные апатито-фосфоритовые Хибинские и Каратауское месторождения. На этом успокаиваться не следует. Необходимо дальнейшее продолжение поисковых и разведочных работ в районах натриевых щелочных пород и древних терригенных отложений, а также молодых морских отложений.

С апатитом связан фтор, кроме того среднеазиатские месторождения плавленого шпата благополучно решают проблему фтора. Однако она не решена и возможны новые находки крупных месторождений плавленого шпата.

Сера элементарная и пиритовая, необходимы как для получения серной кислоты, так и для других целей. Но надо отметить, что самородную серу не следует использовать для получения серной кислоты, а лучше её использовать как элементарную серу.

Мы несколько более подробно освещаем вопрос о сере. Кларк серы 520 г/т, параэлементов 54. По количеству параэлементов сера находится на четвертом месте (железо — 63, кислород — 58, водород — 55). У серы параэлементов больше, чем у весьма распространенных элементов — кремния, алюминия, натрия, кальция, магния и калия.

Если мы станем на позицию авторов, по мнению которых Земля образовалась из метеоритов и метеоритной пыли, то в эту концепцию можно внести поправку о том, что во времени и пространстве метеориты и пыль имели разный минералогический состав. В начале сформировалось железное ядро, после халькозона (сульфидная оболочка), далее ортосиликатная мантия или с и м а, на нее легла алюмосиликатная плагиоклазовая оболочка и наконец, ортоклазовая. Последние две оболочки представляют собой с и а л ь. Ортоклазовая, или гранитная оболочка, никогда не была переплавлена. Она, вероятно, представляет собой бывшую биосферу, о чем говорил В. И. Вернадский. В этой бывшей биосфере (теперь она считается азоем) впервые в водоемах зародилась растительность, давшая начало первичной нефти на Земле. Нефть и нефтяной газ, действуя на воду, создали из сульфатного иона сероводород, который сопровождал нефтяной газ. По пути сероводород

осаждал тяжелые металлы, но так как его больше, то он поднимался выше. Однако он не мог осаждать золото и уран, а его осаждало железо, которого больше чем серы. В результате еще выше по разрезу земной коры выделялись гематит, золото и уран. Такой парагенезис наблюдается во многих местах. В тех газовых струях, которые по каким-то причинам не встречались с железом, сероводород с нефтяным газом залегают на разных глубинах. В последнее время такие газовые бассейны обнаружены буровыми скважинами. Таким образом, парагенезис серы и нефти можно распространять на большие глубины и на более древние периоды. В Советском Союзе сероводородногазовых бассейнов очень много. Во Франции и других странах такой сероводород используется для получения элементарной серы и серной кислоты.

Нефтяной газ, нефть, сероводород, углекислота, азот и сопряженные элементы мигрируют из нижних горизонтов в верхние, этому способствуют непрерывные перемещения отдельных блоков земной коры. Получается так, что нефть находят в изверженных горных породах, при этом предполагается ее магматическое происхождение, в то время как нефть, нефтяной газ и азот биолитного происхождения и образовались в «азойскую эру». К сожалению, сингенезис понимается не всегда правильно. Все промышленные месторождения нефтяного газа, нефти и самородной серы эпигенетичны вмещающим породам.

Выделение сероводорода происходит во всех серных рудниках. Автор уже давно писал о том, что человек в серном руднике извлекает серу, а природа это компенсирует, откладывает ее при обменной реакции сероводорода и кислорода воздуха. В настоящее время следует провести исследования в обработанных рудниках по учету выделяющегося сероводорода и возможного его промышленного использования.

Не следует думать, что вся пиритовая сера связана с данным парагенезисом. Главная масса пирита образована гидротермальным путем. Поэтому гидротермальные полиметаллические, медные и другие месторождения, кроме того, являются еще и пиритовыми, которые следует использовать для получения серной кислоты, с учетом загрязнения ее мышьяком, селеном, теллуром и другими химическими элементами. Кроме собственно гидротермальных месторождений имеются еще колчеданные залежи неопределенного генезиса; мы рассматриваем их как метаморфизованные осадочные толщи, относящиеся к парагенезису серы и нефти.

Сингенетичен вмещающим породам уголь. Геологам, а следовательно и геохимикам, необходимо пересмотреть вопрос о каменном угле с точки зрения использования руд убогих месторождений в качестве агрономических. Уголь образовался в водной среде на суше. В болотах концентрировались химические элементы, являющиеся микроудобрением. В море и его лагунах этого не наблюдалось, так как там не было адсорбента — органики, поглощавшего много химических элементов.

Автор полагает, что ванадий, уран и другие элементы, поглощенные нефтью, являются вторичными по отношению к нефти, а в углях они сингенетичны. Для серьезной работы по углю мелкие месторождения не представляют интереса, а для использования их в качестве агрономических руд они представляют огромный интерес.

Кроме концентрации вещества в нефтях и углях, этот процесс происходит и в связи с жизнедеятельностью организмов, накапливающих химические элементы в осадочных толщах. Изучению этого явления много внимания уделил академик А. П. Виноградов и его ученики. Для целого ряда районов, у которых геологическая обнаженность отсутствует или ничтожно мала, поиски полезных ископаемых должны опираться на те геохимические методы, в которых используются результаты анализов золы растений и животных.

Открытия новых грандиозных месторождений полезных ископаемых свидетельствуют о том, что наша страна обладает большим разнообразием геологических условий, которые еще недостаточно поняты, так как геохимии мало уделяют внимания изучению процессов концентрации вещества в природе.

О ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПАРАЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛАХ*

Согласно геохимической классификации (1, 2) минералы распределяются в классы по ведущему химическому элементу. Установление ведущих элементов в минералах сложного состава по их экономическому значению не всегда однозначно, так как ценность элемента подвержена резким изменениям и не является объективной мерой оценки. В связи с этим предлагается наиболее научно обоснованный и объективный критерий — геохимическая значимость, которая определяется по величине коэффициента концентрации элементов в минералах, т. е. параэлементов (3). Ранее по геохимической значимости элементов в природных концентрациях выделялись соответствующие рудные формации (4).

Установление геохимической значимости элементов в конкретных, особенно в сложных по составу, минералах позволит относить каждый минерал к классу определенного элемента, что необходимо для выделения как всех ведущих минералов данного элемента, так и содержащих его в меньших концентрациях, чем некоторые из его параэлементов. Геохимия каждого элемента изучается по всему комплексу содержащих его минералов. Поэтому минерал-концентратор (обычно ведущий минерал элемента) не всегда является и носителем основной массы элемента в природных образованиях — в породах и рудах. В таких случаях большее значение

* Опубликовано в ДАН УзССР (совместно с С. Т. Бадаловым), 1972, № 6, с. 44—45.

Коэффициенты концентраций параэлементов в некоторых минералах

Минерал	Коэффициент концентрации (X 1000)											Ведущий элемент	
	Bi	Ag	Pb	Zn	Cu	W	Mo	Cr	Au	Te	Se		
Тетрадимит— $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	659000										362000		Висмут
Ширмерит— $\text{Ag}_4\text{PbBi}_4\text{S}_9$	52666	3500	7,3										Висмут
Матильдит— AgBiS_2	61111	4043											Висмут
Виттихенит— Cu_3BiS_3	46889				8,2								Висмут
Айкинит— CuPbBiS_3	40222		22,5		2,3								Висмут
Ларсенит— PbZnSiO_4			35,5	2,1									Свинец
Штольцит— PbWO_4			28,4			310,7							Вольфрам
Вульфенит— PbMoO_4			35,2				261						Молибден
Кроконт— PbCrO_4			40					1,9					Свинец
Сильванит— AuAgTe_4		1885							55811	626000			Теллур
Калаверит— AuTe_2									106000	514000			Теллур
Теллуrowисмутит— Bi_2Te_3	58000										478000		Теллур
Алтаит— PbTe			38,7								381000		Теллур
Клаусталит— PbSe			45,2									5540	Селен

Примечание. Коэффициент концентрации — отношение содержания элемента в минерале к его кларку в земной коре.

имеет преобладающее количество минерала-носителя, нередко содержащего рассматриваемый элемент в сравнительно низких концентрациях (5).

В таблице приведены коэффициенты концентраций параэлементов 14 минералов, для каждого из которых по этому фактору установлен ведущий элемент, имеющий наибольшую геохимическую значимость в соединении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уклонский А. С. Минералогия, ГОНТИ, М.—Л., 1940.
2. Уклонский А. С. ДАН УзССР, 1949, № 8.
3. Уклонский А. С. ДАН УзССР, 1952, № 12.
4. Бадалов С. Т. В сб. «Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых», Ташкент, 1971.
5. Бадалов С. Т. «Геохимия», 1965, № 9.

ВЕЛИКИЙ РУССКИЙ УЧЕНЫЙ В. И. ВЕРНАДСКИЙ*

12 марта 1963 г. исполнилось 100 лет со дня рождения великого русского ученого Владимира Ивановича Вернадского. Научная общественность нашей страны и геологи зарубежных стран широко отмечали этот день.

После смерти В. И. Вернадского (1945 г.) появилось много работ, освещающих его жизнь и деятельность. Так, помещены хорошие статьи в БСЭ, Биографическом словаре деятелей естествознания и техники, в сборниках «Люди русской науки», «Выдающиеся русские минералоги» и др. О нем писали А. Е. Ферсман, О. М. Шубникова, Д. И. Щербаков, А. П. Виноградов, Б. Л. Личков. В 1961 г. вышла в свет интересная книга Л. И. Гумилевского «Вернадский». Народ нашей страны глубоко чтит память В. И. Вернадского. Его именем назван один из прекрасных проспектов Москвы.

Мне как одному из первых учеников В. И. Вернадского, слушавшему в 1909—1910 гг. его курс минералогии в Московском университете и в дальнейшем общавшемуся с ним, есть что рассказать о нем в дополнение к уже напечатанному.

Когда читаешь О. М. Шубникову и в особенности Л. И. Гумилевского, создается впечатление, что минералогической школы Вернадского не было, а была маленькая, ни с кем не связанная группка.

Так ли это? Может быть это произошло потому, что его ближайшие ученики стали отгораживаться от остальных, желая показать своё исключительное положение, а может быть, потому, что они не поняли своего учителя.

Талант В. И. Вернадского был многогранен. Это был не только геолог широкого профиля, но и философ, общественный деятель,

* Опубликовано в сб. «Вопросы минералогии и геохимии», Ташкент, 1964, с. 5—17.

историк. Но прежде всего он был минералогом, т. е. геологом. Это позволило ему воспринять мир так, как он его воспринял, а не иначе. На базе минералогии и геологии можно правильно понять окружающий нас мир. Минералогия — один из важнейших отделов естествознания. Она изучает природное сочетание атомов, т. е. минералы.

В. И. Вернадский пишет, что химический состав земной коры сложился в результате долгой геологической истории нашей планеты. «Но неизбежно возникает вопрос: представляет ли этот состав нечто законченное, постоянное и неизменное или подвержен изменению во времени?» Развивая эту мысль, он говорит, что химический состав земной коры непрерывно изменяется. «Земная кора приобретает вещество с двух сторон — во-первых, она получает космическое вещество «сверху», и во-вторых, в нее постоянно входит вещество «снизу», из частей земли, лежащих глубже самых глубоких оболочек земной коры... Количество твердой космической материи, падающей на землю, — так называемой космической пыли, огромно, но, к сожалению, в полном несоответствии с его значением, явление это чрезвычайно плохо изучено».

Кроме того, наблюдается и потеря Землей газов. «При движении в небесных пространствах постоянно происходит медленный, но, несомненно, заметный в геологическое время газовый обмен между небесными телами, в частности, между планетами...».

Из этих цитат видно, что у Вернадского был широкий подход к пониманию минералогии. А чем была минералогия до Вернадского? Скучным списком свойств не связанных между собой минералов.

Гений Вернадского вывел минералогию из тесного угла описательной науки — системы минералогии Джеймса Дейна — на широкий простор истории минералов земной коры.

Тогда и была создана Вернадским большая школа минералогов, получившая в дальнейшем развитие не только в Советском Союзе, но и во всем мире, а не та маленькая группа, о которой пишут Шубникова, Гумилевский и др.

После Вернадского осталось большое литературное наследие. Он выступал с лекциями и докладами по разным вопросам естествознания, что позволило ему объединить вокруг себя большое число минералогов и геохимиков. В настоящей статье я буду касаться только минералогической школы, так как геохимическая в достаточной мере освещена другими авторами.

Минералогическую школу Вернадский начал создавать в Московском университете. Старинное здание с чугунными плитами вестибюля и главной лестницей производили на нас, студентов, впечатление торжественности, которое еще более усугублялось именами академиков А. П. Павлова и В. И. Вернадского.

Алексей Петрович Павлов так артистически читал курс динамической геологии, что большая геологическая аудитория была

всегда переполнена. Таким же успехом пользовались лекции В. О. Ключевского.

Я слушал курс минералогии у В. И. Вернадского в 1909/10 учебном году и, надо сказать, что многое, о чем говорил Вернадский до широкой студенческой массы не доходило.

В России в то время мало кто имел ясное представление о геологии и, в частности, о минералогии. Знали археологию и путали ее с геологией. О генетической минералогии не имели никакого понятия и минералогию отождествляли с кристаллографией. Надо было запомнить скучные диагностические признаки минералов: твердость, спайность, кристаллическую систему. Как образовались минералы, как связаны они друг с другом — об этом в учебниках минералогии ничего не говорилось, поэтому минералогия представлялась скучной наукой.

О минералогии Вернадского говорили, что понять ее очень трудно, но она нужна для понимания рудных месторождений (в то время еще не было курсов «Рудные месторождения» К. И. Богдановича и В. А. Обручева).

В своем первоначальном курсе В. И. Вернадский рассматривал минералогия как химию земной коры, а минерал как продукт химических реакций, протекших в земной коре. Этот продукт мог быть твердым, жидким и газообразным. В дальнейшем он уточняет, что минералогия — это молекулярная химия земной коры. Какая же разница между геохимией и минералогией, если та и другая занимаются химией земной коры? По Вернадскому эти две тесно связанные науки имеют все же разное содержание: минералогия занимается историей молекул земной коры, а геохимия — историей атомов. Понятно, атомы составляют молекулы, следовательно, если минералогия освещает вопросы истории не только твердых тел, но также жидких и газообразных, то разница между этими науками исчезает. Возражая против морфологического, кристаллографического направления в минералогии, Вернадский впал в другую крайность, включив в минералогия изучение природных жидкостей и газов, и, в первую очередь, воды. Вода стала одним из любимых его объектов изучения.

Еще натурфилософы искали единства природы и для понимания ее делили мир на три царства: животных, растений и минералов. Очевидно, в последнее должно было войти все то, что не вошло в первые два царства, причем оно еще рассматривалось как «косная» материя. Несмотря на эти философские умозрения, минералом все же считалось твердое тело, имеющее кристаллическую структуру. Вода замерзает, т. е. превращается в твердое тело при 0°C , ртуть — 39° , углекислота — 72° и т. д. Таким образом, в природе происходит переход из жидкой в твердую фазу: та и другая, в свою очередь, могут перейти и в газообразную. Вот в чем единство природы. Поэтому жидкость и газ были включены Вернадским в курс минералогии. Однако основную

часть курса он посвящал твердым минералам, главным образом, силикатам.

В то время некоторые профессора за год читали подробно только часть курса, а на следующий — другую. Так делал и Вернадский. Любители минералогии находили в этом курсе то, что нигде нельзя было найти, — живость и подробность описания минералов. Так, сульфиды подразделялись на собственно сульфиды, сульфобазы, сульфосоли и полисернистые соединения. Таким образом, от кристаллографического направления ничего не оставалось.

Следует напомнить высказывания Е. С. Федорова о минералогии. «Минералогия составляет один из трех важнейших отделов естествознания (с зоологией и ботаникой). Таково ее понимание в более широком и часто употребляемом смысле. В более узком значении слова, в каком она обыкновенно и преподается, она должна доставлять знакомство со свойствами простых индивидов неорганической природы. Эти простые индивиды, хотя вообще и могут быть выделены, но не составляют истинных тел природы, каковыми являются горные породы, изучаемые петрографией: явления, совершающиеся в этих телах, составляют предмет физической геологии. Минералы же входят в состав этих тел как механически простые составные их части». Примерно так же представлял себе минералогия С. Ф. Глинка, занявший кафедру минералогии в Московском университете после ухода В. И. Вернадского.

Из вышесказанного ясно, что Вернадский и Федоров стояли на разных позициях в понимании минералогии. Для одного она была химией земной коры, а для другого — частью петрографии и кристаллографии. История атомов и молекул в земной коре, а после в Земле и Космосе, естественно, должна базироваться на изучении превращения вещества, миграции химических элементов. Если в прежнем понимании неживая материя была «косной», то после работ по выяснению строения атома «косная» материя исчезла. Атом представляет собой сложную постройку, отдельные части которой находятся в вечном движении и взаимодействии. Вся жизнь атома, начиная от водорода до сложного распадающегося урана, должна быть охвачена одной наукой, и, как мыслил Вернадский, этой наукой должна быть геохимия. Тогда минералогия становится частью геохимии, изучающей молекулы, а обе они входят в геологию. Таким образом, минералогия и геохимия должны являться геологическими науками, в которых развитие вещества рассматривается во времени. Время, как учит Вернадский, — неотъемлемая часть вещества. Геологи установили условные возрастные взаимоотношения, которые позволяют разбираться в этапах образования минералов в земной коре.

В «Истории минералов земной коры» Вернадский пишет: «Но все же наблюдение в поле и для минералогии, как и для геологии, является основным методом искания истины. Оно получает

свой настоящий объем и свое значение только благодаря тому, что научному наблюдению подвергается работа, связанная с техникой. Горное дело и изыскание полезных ископаемых являются той областью, откуда искони, из века, минералог черпает главный материал для своей научной работы. Неотложной и важной задачей всего процесса знания является систематическое использование для научной работы опыта и труда рудокопов. К счастью, это является необходимым и для успешности самой техники...

Минералог определяет парагенетически каждое нахождение минерала. Он при этом точно указывает земную оболочку, где этот минерал находится или находился, его минеральное тело, его минеральную ассоциацию, его генерацию и все индивидуальные особенности каждого минерала ассоциации. Измеряются кристаллические многогранники, изучаются характер их плоскостей, оптические свойства, цвет, блеск, их состав и т. п. Все эти свойства колеблются в известных пределах для каждого минерала, различны для него, для каждого его местонахождения; в изученных случаях можно по характеру ассоциации и по особенностям ее минералов точно определить, откуда, из какой местности происходит тот или иной минерал. В огромном большинстве случаев можно всегда найти признак, который отличает одно местонахождение минерала от другого его нахождения...» Однако к минералам можно подойти и с других позиций, когда изучаются только их свойства безотносительно к тому, как они образовались.

Минералогическая школа Вернадского ставит основной целью изучение генезиса минералов, а не только их физических или химических свойств или только диагностики. Понятно, значение диагностики, знание физических и химических свойств минералов школа Вернадского не отрицает, но не это ее основная цель. Рассмотрим некоторые примеры из учебника минералогии Вернадского. Этот учебник представляет собой литографированный курс лекций, читанный им в 1907—1908 гг. студентам Московского университета и переработанный по стенограмме А. В. Казаковым. Этот курс значительно сокращен, и в нем не отражена полностью та зональность гидротермального процесса, о которой говорил на лекциях Вернадский.

Начнем с разбора некоторых сернистых соединений.

В. И. Вернадский проводил параллель между сернистыми и кислородными соединениями. Он подразделял их, как было ранее указано, на собственно сульфиды — кислотные остатки и сульфобазы — основания, которые способны, соединяясь друг с другом, образовывать сульфосоли. «Минералы этой группы являются характерными рудами и для некоторых элементов представляют главную форму их нахождения в природе, именно для Zn, Cd, Hg, Pb, Ni».

Любой первичный сернистый минерал Вернадский увязывал со вторичными, содержащими ведущий химический элемент. Так,

галенит он рассматривал вместе с англезитом (PbSO_4), церусситом (PbCO_3), кроконтом (PbCrO_4), пироморфитом ($3\text{Pb}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot \text{PbCl}_2$), ванадинитом ($\text{Pb}_3\text{V}_2\text{O}_8 \cdot \text{PbCl}$), вульфенитом (PbMoO_4), силикатами свинца; цинковые обманки — с госларитом, смитсонитом, каламином, виллемитом. «Цинковый купорос образуется всюду вблизи залежей цинковой обманки; воды, вытекающие из таких местностей, всегда содержат в растворе некоторое количество ZnSO_4 (в жарких странах, например, Алжире, Миссури, получают довольно конденсированные растворы). Цинковый купорос является первоначальным источником почти всех цинковых руд, образовавшихся путем замещения в осадочных породах. Мы имеем круговорот ZnS , причем руды, образовавшиеся путем замещения, чище, беднее FeS (близки к клейофану) и т. д.». Вюрцит рассматривается вместе со сфалеритом. О миллерите (NiS) Вернадский говорит, что он часто является вторичным продуктом и в больших количествах обыкновенно не встречается, за исключением Нассау.

Своеобразно освещен вопрос о сульфосолях, хотя в настоящее время на основании изучения структур они и рассматриваются несколько иначе, но многие положения об образовании этого типа минералов до сих пор остаются в силе. По Вернадскому, сульфосоли серебра, меди и свинца распадаются по следующей схеме: сульфосоли \rightarrow ортосульфосоли \rightarrow сульфид и сульфобазы; последние переходят в самородные, окислы, галлоидные или кислородные соли. Например, полибазит переходит в стефанит \rightarrow фрейбергит, пираргирит в миаргирит.

Блеклые руды, по мнению Вернадского, обыкновенно представляют собой новейшую генерацию среди первичных жильных минералов.

В особую категорию он выделяет полисернистые соединения. «Минералы этого класса представляют по многим своим свойствам резко выраженную группу и во многом отличаются от рассмотренных нами ранее сернистых соединений.

1. ...Наиболее распространенное и характерное полисернистое соединение пирит и марказит — FeS_2 — может служить прекрасным объектом для подтверждения выведенных нами закономерностей и отличий полисернистых соединений от тел солеобразных, в частности от FeS ...

2. FeS_2 чрезвычайно легко выделяет S, тогда как эта реакция для FeS не наблюдается.

В данном случае аналогия FeS_2 с H_2O_2 полная. $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$, точно также $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{S}$. Это достигается простым нагреванием FeS_2 . Выделенная S чрезвычайно легко окисляется — «сгорает».

3. FeS_2 не дает никаких соединений с другими сернистыми металлами.

4. FeS_2 не образуется распадением сульфосолей...».

О пирите говорится, что он чрезвычайно распространен и по количеству равен всем остальным сернистым соединениям вместе взятым или даже больше, условия его образования в природе различные. При быстром окислении и большом доступе воды из колчедана образуется сульфат закисного железа и серная кислота. « H_2SO_4 является могучим агентом образования различных соединений,— так образуются различные сульфаты».

Не останавливаясь на подробном разборе всех классов минералов, отметим алюмосиликаты. Ряд современных исследователей, рассматривая вопрос о структуре минералов, считают, что точка зрения Вернадского на силикаты была неправильной. Естественно, до рентгеновского исследования минералов нельзя было изучить структуру не только силикатов, но и других классов минералов. Однако не следует преувеличивать значения структурного анализа минералов. Основное положение о существовании особой группы природных соединений — алюмосиликатов, — выдвинутое В. И. Вернадским, остается в силе. Теперь нам известно, что в какой бы координации ни находился алюминий в кристаллической решетке, его особая связь с кремнием очевидна. Так, по Штрунцу, полевые шпаты имеют следующие формулы: анортит — $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, альбит — $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. Алюминий и кремний входят в кислородные тетраэдры. Из этих минералов образуется каолин — $\text{Al}_4[(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]]$; иначе говоря, здесь алюминий не входит в кислородные тетраэдры. Первые минералы имеют вязевую структуру, а последний — листовую. Поэтому если подойти к данным минералам с позиции кристаллохимии, то необходимо будет сделать вывод, что между ними нет связи, хотя на самом деле каолин нередко образуется из полевых шпатов. Это образования разного типа. Или, например, возьмем гранаты. Им обычно придают формулу $\text{M}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ и относят их к островной структуре. Однако при изменении они переходят в хлориты листовой структуры.

В общем к какой бы структуре не относились силикаты, содержащие алюминий, при их изменении последний может менять позицию в кристаллической решетке, но не выходит из новообразованного минерала. Алюмосиликаты при этом не превращаются в гидраты глинозема и кремнезема, так как для данного процесса требуется наличие сильных кислот или щелочи, или живых организмов. По структуре очень близки тальк и пирофиллит. Оба минерала листовой структуры: тальк — $\text{Mg}_3[(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]]$ — моноклинный, пирофиллит — $\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ — тоже моноклинный. Эти минералы изоструктурные. В современных учебниках минералогии они рассматриваются совместно. Напомним, что топаз — $\text{Al}_2[\text{F}_2[\text{SiO}_4]]$ — и целестин — $\text{Sr}(\text{SO}_4)$ — ромбически-дипирамидальные D_{2h}^{16} . При оптическом определении литологи их смешивают по сходству оптических свойств. По структурным свойствам эти минералы пока не объединены. Геохимические судьбы алюминия, магния и кремния близки, но вместе с тем и различны. Тальк

образуется обычно в результате метаморфизации актинолитовых сланцев, и пирофиллит в них, как правило, не ищут.

Отдавая должное кристаллохимии, мы все же признаем правильность положения В. И. Вернадского о значении алюминия в силикатах. Очевидно, в пространственной решетке особую роль играет не форма расположения ионов, а само вещество. Благодаря изотоническому парагенезису магний, алюминий и кремний должны совместно мигрировать в земной коре, так как некоторые их изотопы имеют по 14 нейтронов, но магний приручен к ультраосновным породам — перидотитам, а алюминий — к основным и средним — габбро и диоритам. Это явление закономерное. Следовательно, хотя магний и алюминий имеют одинаковое количество нейтронов и могут образовывать изоструктурные кристаллические формы, но так как они являются разными веществами, то заменить друг друга полностью не могут, оставаясь при этом параэлементами. В этой же связи следует отметить, что изотопы алюминия и кремния, имеющие по 14 нейтронов, тоже взаимно связаны, но не заменяют друг друга.

Мы не будем детально рассматривать данный вопрос, так как наша задача заключается в освещении минералогических работ В. И. Вернадского. Большое внимание Вернадский уделял минералогическим музеям и топографической минералогии. Он писал: «Топографическая, или описательная, минералогия лежит, в конце концов, в основе всякой научной минералогической работы. Ее задачей является точный каталог месторождений всех минералов всего земного шара. Она входит, таким образом, в круг тех научных дисциплин, охватываемых коллективным многовековым трудом человечества, которые научным образом описывают все естественные тела в их нахождении в природе — звезды, туманности, растения, животные, кристаллы, горные породы, почвы, химические соединения и т. п.

...Как всякая описательная научная работа, и эта работа человечества никогда не может быть закончена; постоянно открываются все новые свойства тел, находятся новые методы исследования, зарождаются новые проблемы, открываются новые минералы. Старый описательный материал вновь перерабатывался...». Далее Вернадский говорит о значении минералогических музеев, в которых сохраняются минералы из уже выработанных и открываемых месторождений. Таким образом, через все его минералогические работы красной нитью проходит связь минералогии с изучением месторождений полезных ископаемых.

Вернадский принимал активное участие в создании минералогических музеев Московского университета и других высших учебных заведений и Академии наук.

Часто работники музея подбирают образцы по своему эстетическому вкусу. Музей может быть очень нарядным и большим, с великолепными и крупными образцами, но не с полным набором минеральных видов. Вернадский не стремился к нарядности,

а старался пополнить коллекции недостающими минеральными видами, а для этого необходима большая кропотливая работа.

От своих учеников он требовал определения минералов на глаз, иначе в поле не найдешь не только новые минеральные виды, но и пропустишь известные. Его помощник ассистент Павел Карлович Алексат¹ руководил занятиями с паяльной трубкой и от нас, студентов, требовал, по указанию Вернадского, определения на глаз большого количества образцов минералов. В подтверждение приведу такой случай. Будучи уже профессором, я приехал в Ленинград и по совету А. Е. Ферсмана пошел к В. И. Вернадскому, который недавно вернулся из-за границы. Свидание было назначено в Радиевом институте в 10 часов утра. «Имейте в виду, — сказал А. Е. Ферсман, — он Вас будет экзаменовать. Если провалитесь, то не показывайтесь ему на глаза. Приходите вовремя — он не любит опозданий». Как я ни старался, все же опоздал, так как получить пропуск в Радиевый институт в то время было не так-то легко. Когда я поднимался по лестнице, навстречу мне спускался Владимир Иванович с довольно мрачным видом. Вместо ответа на приветствие он достал из бокового кармана пробирку и спросил: «Что это такое?». В пробирке был какой-то темный, похожий на графит минерал. Я у него спрашиваю, можно ли его взять в руки. Говорит — нет. Спрашиваю — радиоактивный? Отвечает — да. Тогда я ему сказал, что это тухолит или карбуран. Он подтвердил, что это тухолит, а карбуран, говорит, твердый. Так я выдержал экзамен.

В конце двадцатых годов я обратился с просьбой к Владимиру Ивановичу провести консультацию по изучению минералогии Наукатского медного месторождения. Я был склонен рассматривать это месторождение как эпигенетическое, в то время как некоторые ленинградские специалисты рассматривали его как гидротермальное. Вернадского этот вопрос заинтересовал, но из-за болезни он тогда не смог принять участия в этой работе.

Во время наших дальнейших встреч, он подробно расспрашивал меня про мою коллекцию в САГУ, а позже — Политехнического института. Однажды он спросил, имеются ли у меня метеориты? У меня был один метеорит, который мне передал в двадцатом году профессор Стратонов. Я отчетливо помнил, что Стратонов назвал его пензенским каменным метеоритом. Владимир Иванович сказал, что пензенский метеорит упал в конце двадцатых годов и что, вероятно, Стратонов перепутал. Он просил меня доставить ему в Москву этот «пензенский» метеорит. Взамен Владимир Иванович прислал мне ряд метеоритов.

Парижский академик А. Лякруа переслал В. И. Вернадскому в Ленинград тектиты из Индо-Китая. После они оказались в Москве, а теперь три из них находятся в Ташкенте. Кроме них, имеется еще несколько минералов, переданных мне Вернадским.

¹ У Л. И. Гумилевского ошибочно написано Петр Карлович Алексат.

Этими воспоминаниями я хочу подчеркнуть, что всей своей душой Владимир Иванович был минералог.

Его ум был всеобъемлющим. Он живо интересовался многими вопросами. Так, он писал и часто мне говорил, что гранитной магмы не было, что граниты — это бывшая биосфера. Тогда такой вывод казался парадоксальным, но мы, его ученики, верили ему, что Земля — не остывающая частица Солнца, а создана из холодной метеоритной материи. Правда, меня за эти взгляды неоднократно критиковали.

В Ташкент приезжал академик Французской академии Жан Виар и сделал доклад о гранитизации. Он экспериментально доказал возможность получения гранита из осадочных пород и, в частности, из глин при температуре 800° и давлении 2000 атм в перегретых парах воды. Гениальный прогноз Вернадского был экспериментально подтвержден.

Несколько слов о минералогической школе Вернадского.

В период работы Вернадского в Московском университете ближайшими его сотрудниками и учениками были П. П. Пилипенко, Л. Л. Иванов, С. П. Попов, Я. В. Самойлов, А. Е. Ферсман, А. А. Твалчрелидзе, П. К. Алекса, В. В. Аршинов и др. Кроме них, в Москве работало много других учеников Вернадского, в частности О. М. Шубникова на Высших женских курсах и др. Они сыграли большую роль в формировании школы Вернадского. Направление Вернадского в минералогии развивали также многие ученые, жившие и работавшие в других городах России, во Франции, Сербии, Болгарии, Германии, Австрии, Венгрии и Италии.

П. П. Пилипенко переехал в Томск, Л. Л. Иванов — в Екатеринослав (ныне Днепропетровск), С. П. Попов — в Воронеж, А. А. Твалчрелидзе — в Тифлис (Тбилиси) и там организовали минералогические школы Вернадского. После отъезда Владимира Ивановича в Петербург в Москве остались Я. В. Самойлов — профессор сельскохозяйственной академии, П. К. Алекса и В. В. Аршинов, возглавивший новый институт по изучению минерального сырья (Литогея). Приехавший из Петербурга профессор минералогии С. Ф. Глинка начал искоренять влияние Вернадского из стен Московского университета. Минералогия стала морфологической. Система минералогии Джеймса Дейна завоевала прочные позиции. А. Е. Ферсман вскоре уехал в Петербург. Вернадский изредка приезжал для научных докладов в Москву и собирал огромную аудиторию слушателей. Я. В. Самойлов стал председателем рудной секции Земгора (Союз земств и городов). Мы, ученики Вернадского, объединились вокруг Аршинова в исследовательском институте Литогея. Он издавал журнал «Рудный вестник». К этой организации примкнул В. А. Обручев. В Москву часто приезжал А. Е. Ферсман. Так сохранилась московская школа Вернадского, пополнившаяся воспитанниками Московского университета, которых не могли удовлетворить установ-

ки С. Ф. Глинки. В Петербурге примкнули С. М. Курбатов, К. К. Матвеев и др. В дальнейшем Матвеев переезжает в Свердловск и там объединяет последователей Вернадского. Я переезжаю в Ташкент и здесь развиваю направление школы Вернадского. В Казани его поддерживают Б. П. Кротов, а затем Л. М. Миропольский; в Киеве и в Новочеркасске — П. Н. Червинский и Н. П. Сушинский.

Наиболее преданным и активным учеником Вернадского был академик А. Е. Ферсман, пропагандировавший его идеи. Академик А. Д. Архангельский, будучи учеником А. П. Павлова, был одновременно учеником Вернадского и проводил его идеи в литологии.

На втором году Первой мировой войны царская Россия оказалась без минерального сырья. Академик В. И. Вернадский в содружестве с другими академиками Императорской Академии Наук, которая занималась только теоретическими вопросами и у которой не было технического отделения, организовал КЕПС (Комиссию естественных производительных сил), впоследствии преобразованную в СОПС. На базе топографической минералогии начались поиски полезных ископаемых и их разведка. В КЕПС был привлечен коллектив минералогов школы Вернадского, который при Советской власти вырос в большую армию минералогов. Основной задачей их стало изучение минералогии полезных ископаемых и, главным образом, изучение рудных полей, что способствовало быстрому освоению недр Советского Союза. Развивая учение Вернадского, советские минералоги открыли много новых месторождений и описали большое количество новых минералов. Таким образом, В. И. Вернадский был не только философом-теоретиком, но и организатором прикладного направления в минералогии.

Следовательно, наряду с большой геохимической школой, представителем которой является академик А. П. Виноградов, была создана минералогическая школа, завоевавшая большой круг исследователей, широко развивающих геохимическое направление в минералогии и геологии.

Развитие вещества, а не застывшая форма минералов — таков девиз школы Вернадского.

Еще в 1912 г. в докладе о радиоактивных минералах, прочитанном в Политехническом музее в Москве, Владимир Иванович говорил о значении атомной энергии. Насколько он был прав, можно понять только теперь. Все свои философские выводы и понимание мироздания он строил на базе минералогии и геохимии.

Теперь, когда прошло уже 19 лет со дня смерти нашего учителя, он встает перед нами во всем своем величии ученого и мыслителя.

МЕТАХРОМАТИЗМ МИНЕРАЛОВ*

Изменение окраски предметов при искусственном освещении было известно очень давно. Однако это явление не было использовано при диагностике минералов. Даже при естественном свете и то не при всех условиях можно наблюдать истинный цвет предметов. Еще в прошлом столетии Прево отмечал, что собственный цвет металлов следует изучать путем многократного отражения светового луча от двух полированных пластинок изучаемого металла, обращенных полированной стороной друг к другу. Таким образом Прево нашел, что золото имеет красновато-розовый цвет, медь — ярко-пурпурный, а серебро — оранжевого цвета. Изучение окраски минералов по методу Прево не получило своего дальнейшего развития. Окраску минералов стали изучать иным путем (Ферсман, 1936). А в самое последнее время уделили особое внимание люминесценции минералов, для чего даже сконструировали специальный люминесцентный микроскоп.

Изучая люминесценцию минералов при помощи ртутной лампы системы Баха без светофильтров, поглощающих видимый свет, автор заметил, что целый ряд минералов резко меняет свой первоначальный цвет. Изменение первоначальной окраски зависит не от явлений люминесценции, а от природы видимых лучей ртутной кварцевой лампы.

В спектре этой лампы не хватает целого ряда лучей с разными длинами волн до настоящего белого цвета; при облучении таким светом минералы изменяют первоначальную окраску. Однако вновь полученная окраска является иногда не дополнительным цветом к существующему, а иной, что зависит не только от природы облучающих лучей, но и от самого вещества. При наблюдении изменения окраски некоторых минералов было замечено влияние люминесценции самих минералов. У минералов с металлическим блеском люминесценции не наблюдается, отмечается только изменение первоначального цвета, происходящее исключительно от неполноценного белого цвета ртутной лампы.

Изменение цвета, зависящее от указанных причин, является дополнительным методом для диагностики минералов. Изменение цвета минералов при искусственном освещении, например, от ртутной лампы или от обыкновенной лампы, но при применении разных светофильтров, автор предлагает назвать метахроматизмом (от греческих слов: *meta* — переход из одного состояния в другое и *chromatiz* — окрашивание).

Для выявления метахроматизма автором были произведены наблюдения над изменением цвета у ряда минералов и растворов. Минералы исследовались из коллекции минералогического кабинета Среднеазиатского индустриального института. Всего было просмотрено свыше пятисот минералов и окрашенных растворов. Из них наиболее характерные приведены в таблице.

* Опубликовано в ДАН СССР, том XXXII, 1941, № 3, с. 210—213.

Метахроматизм минералов

№	Название	Первоначальный цвет	Полученный цвет
Красные разных оттенков			
	Раствор роданистого железа	Слабокрасный	Желтовато-коричневый с оливковым оттенком
	- То же, концентрированный	Темно-красный	Черный
	Азотнокислый кобальт	Красный	Розовато-коричневый
	Марганцовокислый калий	Красный	Фиолетовый
	То же, концентрированный	Вишневый	Фиолетовый
	Конго рот	Красный	Черно-красный
	То же, слабой концентрации	Бледно-красный	Чайно-коричневый
2883	Сурик свинцовый на галените	Алый	Светло-коричневый, охристый
3605	Реальгар, Верхняя Рача	Темно-красный	Черный с красноватым оттенком
3598	Реальгар, Чаувай	Светло-красный	Черный с красноватым оттенком
228	Киноварь, Ильди-канский рудник	Красная	Черная
836	Киноварь порошковая	Алая	Черновато-коричневая
	Черта на бисквите	Алая	Черновато-коричневая
1837	Куприт	Черновато-красный	Черный с серебристым металлическим блеском
	Черта на бисквите	Красная	Черновато-серая
345	Куприт, Н. Тагил	Черно-красный	Черный с металлическим блеском
3105	Кирпичная медная руда, д. Кулларово, Тат. республики	Темно-красная	Коричневая с оливковым оттенком
932	Альмандины из Урала	Черновато-красные	Черные со смолистым блеском
1926	Тироля, Цейлона		
2535	Памира		
954			
1929			
1933			
3157			
952	Гессониты уральские	Красновато-коричневые и оранжевые	Зеленые с желтоватым или черноватым оттенком
946			
944			
1793			

№	Название	Первоначальный цвет	Полученный цвет
937	Румянцевиты Урала	Темно-красные и оранжево-красные	Зеленые и черно- зеленые
938			
936	Рубин кристаллический Джекдалека, Афганистан	Ярко-красный	Более ярко-красный
	Искусственный рубин от ВИМС'а	Темно-красный	Более яркий, темно-красный
	Рубин граненый из Джекдалека	Бледно-красный	Более яркий, бледно-красный
	Рубин плавленый (драгоценный камень)	Темно-красный	Более яркий, темно-красный
4545	Эвдиалит, Хибины	Малиновый	Темно-сиреневый
5188	Эритрин, р. Тюлюк	Ярко-розовый	Ярко-фиолетовый
1183	Крокоит, Березовский рудник	Оранжево-красный	Оранжево-зеленый
282	Глауколот, Скуттеруд, Норвегия	Серебристый с красноватым оттенком	Металлический блеск более выявляется, красный цвет исчезает
184	Прустит, Иоахимсталль	Серебристо-черновато-красный	Черный с металлическим блеском
	Кобальтовый блеск, Гессен, Бихельсдорф	Золотисто-красноватый	Золотистый оттенок переходит в серебристый, краснота исчезает
3061	Ортоклаз, Боровое	Коричневато-красный	Грязно-зеленовато-желтый
1906	Родониты из Шабры	Мясо-красный и других оттенков	Грязно-серые с фиолетовым оттенком
789			
2473			
		Желтые	
1492	Самородное золото уральское	Желто-золотое	Более яркое и резко выделяется на фоне природы
23			
1435			
1485			
1			
4	Золото жильное, Оффенбанья, Венгрия	Светло-золотисто-желтое	Яркое, более темное золотисто-желтое
9	Электрум, Алтай	Серебристо-желтый	Более яркий, золотисто-желтый
8			
3696	Пириты из Англии и Кавказа	Золотисто-желтые	Более яркие с явным зеленоватым оттенком
3699			
1815			
3707			
3403	Гидрогетит, Тюямююн	Коричневый с золотистым оттенком	Темнозеленый
2194	Тюямюунит в рудном мраморе Тюямююн	Канареечно-желтый	Более яркий и слегка позеленел
5150	Молибдит, Джида	Желтый	Зеленовато-желтый
4882	Сурьмяная охра, Касансай	Серовато-желтый	Ярко-желтый
5026	Аурипигмент, Рача	Золотисто-желтый	Зеленовато-желтый
4058	Вульфенит, Кансай	Коричневато-желтый	Оливковый

№	Название	Первоначальный цвет	Полученный цвет
772	Хондродит, Паргас Серя из Шорсу	Желтовато-оранже- вый Желтая	Восково-желтый Ярко-желтая со слег- ка зеленоватым оттен- ком
4794	Серя, Кукуртли (Красноводск) Селенистая серя с Липарских островов	Бледно-желтоватая, желтая Оранжевая	Стала более желтой Коричневато-желтая
Зеленые			
4126	Нефрит, р. Орот	Темно-серовато-зе- леный	Темнеет
2117	Офит (жад) Мси- тана	Бледно-серовато- зеленый	Более яркий, серо- ватость исчезает
709	Пикрозмн, Златоус- товский район	Бледно-зеленый	Зеленеет
2572	Салит, Германия	Желтовато-серый	Слегка зеленеет
1070	Хлорит, Полевский завод	Черновато-зеленый	Слегка светлеет
867	Микроклин (ама- зонит)	Голубовато-зеленый	Синеет
1512	Ильменские горы		
1515	Изумруд, изумруд- ные копи, Урал	Желтовато-зеленый	Значительно жел- теет
2606	Заратит	Желтовато-зеленый	Зеленовато-желтый
1022	Фуксит, Керябин- ский р.	Ярко-зеленый	Желтеет
1250	Уваровит, Урал	Темно-зеленый	Темнеет
2629	Малахиты уральские	Темно-зеленые	Оливковые
2624	Атакамит, Мексика	Темно-зеленый	Зеленовато-синий
1458			
Синие и голубые			
960	Лазурит из Тункин- ских гор и Афганис- тана, р. Кокча	Темно-синий	Синий со слегка фиолетовым оттенком
2632			
2631			
958			
2359			
964			
1750	Аквамарин	Бледно-зеленовато- голубой	Обесцвечивается
2555	Бирюза из Синая, нишапура, Кульд- жуктау	Голубая, синевато- голубая и зеленовато- голубая	Делается почти бе- лой
4682			
2384			
3151			
5742			
5324	Вишневит, Вишне- вые горы	Бледно-серовато- голубой	Темнеет
5092	Аурихальцит, Ал- тын-Топкан	Зеленовато-голубой	Белый
1437	Азурит, Н. Тагил	Темно-синий	Темно-фиолетовый

№	Название	Первоначальный цвет	Полученный цвет
309	Содалит, Ильменские горы	Бледно-синий	Ярко-синий
5310	Целестин, Кавказ, „Коварство и любовь“	Бледно-серовато-голубой	Темнеет
3161	Целестин, Бабадурмас	Светло-голубой	Более яркий, но обесцвечивается
4481	Целестин, Чангирташ	Голубой	Более яркий, но окраска бледнеет
1221	Ангидрит	Бледно-голубой	Приобретает фиолетовый оттенок
5393	Цианотрихит, Табосар	Голубой	Сиреневый
Фиолетовые			
2513	Флюорит, кристаллы, Англия, Кумберленд	Густо-фиолетовый	Ярко-синий
3972	Флюорит, Аурахмат	Фиолетовый	Синеет
604	Аметист, Урал, Мурзинка	Бледно-фиолетовый	Синева-фиолетовый

МИНЕРАЛ И КРИСТАЛЛ*

Успехи химии и физики в области изучения строения вещества ставят перед минералогией и кристаллографией новые задачи. Одной из таких задач является пересмотр определения понятия «минерал» и «кристалл». За последнее время в специальной периодической печати появился ряд работ, посвященных этому вопросу. Автор предлагает свою точку зрения по поводу определения понятий — «минерал» и «кристалл».

В классической минералогии имеется ряд определений понятия «минерал». Приведем некоторые из них.

Эдвард Дана (1), углубивший систему своего отца Джемса Дана, в своем учебнике минералогии систематизирует минералы по типу химических соединений, и так определяет это понятие: «Минерал есть тело, образованное при помощи процессов неорганической природы, имеющее определенный химический состав и, если образовано при благоприятных условиях, известную характерную молекулярную структуру, которая проявляется в его кристаллической форме и других физических свойствах».

В. И. Вернадский (2), в учебнике минералогии 1907—1908 гг. указывал, что минералом следует называть «продукты химических реакций, протекавших естественным путем в земной коре».

* Опубликовано в «Бюллетене АН УзССР», 1945, № 3.

В «Истории минералов земной коры» (3) это положение более углубляется; так, на стр. 78 читаем: «В настоящее время мы называем минералом физически или химически индивидуализированный продукт земных химических реакций, состоящий из химических молекул».

Болдырев А. К. (4) в курсе описательной минералогии приводит следующее определение понятия «минерал»: «Минералом называется химически или физически вполне или приближенно однородная часть земной коры, у которой химический состав и главные физические свойства в разных ее точках постоянны или колеблются в определенных, сравнительно узких, пределах».

В 1937 г. М. Н. Годлевский (6) сделал уточнение понятия этого термина: «Минерал есть часть земной коры, обладающая той однородностью, которая свойственна определенным фазам физико-химических систем».

Развивая эту мысль, в том же году А. Г. Бетехтин (7) писал: «Минералом может быть любая фаза любой природной физико-химической системы, находящейся в данный момент в равновесии».

Академик Д. С. Белянкин (8) пишет: «Современная минералогия, как нам кажется, независимо от пережитков терминологии, достаточно самостоятельная наука и она вправе и обязана черпать свои материалы не только из геологии, но и из техники и лабораторного эксперимента», т. е. не только в земной коре образуются минералы, но их можно получить и искусственным путем.

В самое последнее время Д. П. Григорьев (9) дал такое определение понятия «минерал»: «Минералы это продукты процессов химического и физического характера, получившие химическую индивидуализацию в виде простых тел, соединений и смесей таковых в одном из состояний — каком-либо кристаллическом, жидком, газовом или каком-либо дисперсоидном... Последнее определение является не очень четкой переработкой определения понятия «минерал», которое было дано В. И. Вернадским.

И так, с одной стороны, для понятия «минерал» дается узкое определение (Дана), с другой — очень широкое (Вернадский, Болдырев), позволяющее считать минералом жидкости, газы и твердые тела. Однако все эти формулировки неточны в определении понятия «минерал». В связи с этим, А. Н. Винчелл (5) в речи на ежегодном съезде минералогического общества США в декабре 1932 г. о новой минералогии, между прочим сказал, что минерал в собственном смысле термина соответствует более родовому понятию, чем видовому. Этот исследователь графически иллюстрировал неточность определения видовых понятий в минералогии. На примере метасиликатов: клиноэнстатита, клиногиперстена, диопсида и геденбергита видно, что эти вещества могут образовывать между собой постепенные переходы. Таким образом,

каждый определенный такой переход можно считать за самостоятельный минерал и можно все эти переходы считать за один минерал, если мы будем пользоваться вышеуказанными формулировками.

Ежегодно открывается несколько минералов, причем происходит не только открытие новых минералов, но и дискредитация некоторых недавно открытых, которые оказываются или смесями или разновидностями уже известных минералов. Однако следует сказать, что в таких случаях авторы, опираясь на приведенные выше формулировки определения понятия «минерал», могут возражать против ущемления своих интересов и, может быть, они будут правы, так как в нашей науке существует не очень точное определение самого понятия «минерал».

Можно напомнить, что в последней сводке авторов, продолжающих минералогию Хинтце (Гинтце), приводится около 8000, а у акад. В. И. Вернадского имеется около 500 видов минералов воды. Следовательно, мы вправе задать вопрос: что же нужно понимать под словом «минерал»? Ввиду того, что в минералогии имеется несколько научных направлений, то, естественно, может быть и несколько определений самого понятия «минерал».

Можно ли считать, что приведенные выше формулировки уточняют наше представление о минерале?

Надо сказать, что как в этих, так и в старых формулировках, не указан масштаб самого явления. И если с этой точки зрения рассмотрим формулировку М. Н. Годлевского и, ранее отмеченную, А. К. Болдырева, то заметим следующее несоответствие: «Минерал есть часть земной коры». Земную кору мы измеряем не ангстремами, а метрами. Если берется масштаб земной коры, то, видимо, идет разговор даже не о метрах, а о кубических километрах, о чем, по-видимому, не предполагал говорить данный исследователь. А. Г. Бетехтин считает, что любая фаза любой природной физико-химической системы, находящейся в данный момент в равновесии, будет минералом. С тем же самым успехом это определение можно отнести и к продуктам магматической дифференциации, т. е. к горным породам.

Земную природу можно разделить на три царства: животный и растительный мир объединяет биосфера, и минеральный мир, составляющий литосферу, гидросферу и атмосферу. Между этими сферами происходит постоянное взаимодействие.

Материя, находясь в вечном движении, непрерывно меняет свой облик. Атомы и ионы в своем движении могут иметь относительные остановки, когда они сочетаются в пространственные решетки, в которых они могут двигаться только вокруг своих центров равновесий. В таком положении они иногда могут оставаться в течение ряда геологических эпох, а иногда в пространственных решетках они задерживаются на долю секунды. Эти условные остановки движения атомов или ионов являются этапами исторического развития вещества, они-то и называются мине-

ралами. До тех пор, пока ионы или атомы находятся в безусловном движении, они являются минеральными образованиями (газы, жидкости), а как только они начнут сочетаться в пространственные решетки, выделив при этом какое-то количество энергии, только тогда они образуют минерал.

Значит, минералом следует называть закономерное сочетание атомов или ионов в пространственную решетку, устойчивое при определенной температуре, среде, давлении, обладающее присущими ему физическими и химическими свойствами, которые можно определить при помощи современных методов исследования.

Минералы могут быть естественными и искусственными.

Коллоидальные и аморфные минералы, как теперь принято считать, представляют скрытокристаллические агрегаты. Жидкие и газообразные тела следует рассматривать не как минералы, а как минеральные образования.

Нельзя игнорировать искусственные кристаллические тела, образованные в организме. Изучение этих тел представляет огромный интерес с точки зрения понимания истории развития вещества в природе. Дальние вестники вселенной — метеориты, упавшие к нам на землю, тоже состоят из минералов, изучение которых, несомненно, представляет огромный интерес.

Сочетание атомов или ионов в пространственную решетку происходит под влиянием энергетических сил, заложенных в самом веществе, или, иначе говоря, в самой материи. Этот процесс может происходить как в живом организме, так и в лаборатории и естественным путем в земной коре или в любом космическом теле, где имеются соответствующие температура и давление.

Следовательно, наука, изучающая минералы, т. е. минералогия, является не только одной из ветвей геологических знаний, но, наряду с зоологией и ботаникой, одной из основ всего естествознания.

При таком определении понятия «минерал» возникает вопрос, а что же следует тогда назвать кристаллом?

Кристалл представляет индивидуум минерала. Следовательно, кристаллография — это наука о минеральных индивидуумах. Такое определение кристалла вызовет возражение со стороны кристаллографов, которое будет уместным только при широком толковании понятия «минерал», когда под ним подразумевались и водух и вода.

Рассматривая минерал, как закономерное сочетание атомов или ионов в пространственную решетку, естественно возникает вопрос — как же классифицировать минералы: можно ли их классифицировать по типу химических соединений? Очевидно, нет; их можно классифицировать или по типу пространственных решеток или по входящим в эти решетки атомам или ионам, т. е. по химическим элементам. Базируясь на этом, автор в своей минералогии и дал классификацию по ведущим химическим элементам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Edward S. Dana, A textbook of mineralogy, New—York, 1922.
2. В. И. Вернадский. Минералогия. Лекции, прочитанные студентам Московского университета в 1907—1908 гг.
3. В. И. Вернадский. История минералов земной коры, 1923.
4. А. К. Болдырев. Курс описательной минералогии, Ленинград, 1926.
5. A. N. Vincent. The new Mineralogy, The Amer. Min., No 3, 1933.
6. М. Н. Годлевский. Уточнение понятия о минерале, Записки Минерал. общ., 1, 1937.
7. А. Г. Бетехтин. К вопросу о понятии минерал. Записки Минер. общ., 4, 1937.
8. Д. С. Белянкин. Минералогические заметки. Записки Минерал. общ., 1—2, 1942.
9. Д. П. Григорьев. Основные проблемы минералогии, Записки Минерал. общ., 2, 1943.

ДИПЛОСКОП — НОВЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ*

Определение монокристаллов кварца, кальцита, гипса, каменной соли и других оптических минералов представляет большой интерес для специальной промышленности. Эти определения в большинстве случаев требуют применения сложных приборов, подготовки материала, большого опыта и искусства самого исследователя. Отсутствие простых приборов для быстрого определения монокристаллов побудило автора заняться конструированием таких приборов, при помощи которых можно было бы рядовому специалисту успешно определять монокристаллы.

Известно, что если наблюдать через спайный осколок исландского шпата черную точку на бумаге и при этом вращать этот осколок, то вместо одной точки будут видны две, причем одна из них вращается вокруг другой. Следовательно, если вместо черной точки на бумаге наблюдать через кристалл световую точку, то картина дупреломления будет более отчетливой. Для этого требуется устранение дневного или искусственного света, который мешает наблюдению. На этом принципе автор сконструировал прибор, который назван им диплоскопом (от греческих слов диплос — двойник и скопею — смотрю, наблюдаю). Принцип устройства этого прибора заключается в том, что наблюдатель рассматривает световую точку через исследуемый кристалл оптического минерала. Наблюдение должно производиться в темном помещении.

Для определения монокристаллов автор предлагает использовать прибор следующего устройства:

1. Сильная лампа, предпочтительно «медицинский солиукс», помещается в прожекторе.

2. Световые лучи, выходящие из прожектора, проходят через светофильтр, лучше синий.

* Опубликовано в «Бюллетене АН УзССР», 1947, № 1.

3. Для получения узкого пучка лучей на пути выходящего окрашенного света ставится зачерненная точечная диафрагма, которая пропускает тонкий пучок окрашенного света.

4. Для более густой окраски лучей за диафрагмой помещается второй светофильтр в черной обойме, которая поглощает боковые рассеянные лучи света.

5. Все это помещается в черный футляр или кожух, назначение которого — поглощать рассеянные лучи света.

Луч света, идущий через первый светофильтр — точечную диафрагму, и далее через второй светофильтр, может пройти через испытуемый кристалл, который помещают на пути луча света, непосредственно после второго светофильтра. Если этот пучок света пропустить через монокристалл исландского шпата, то наблюдатель увидит две светящиеся синие точки, соответствующие обыкновенному и необыкновенному лучам света. При вращении кристалла вокруг горизонтальной оси (что легко сделать держа кристалл в руке перед вторым светофильтром) одна из этих точек будет вращаться вокруг другой. При двойнике будут видны четыре светящиеся точки, а при тройнике — шесть и т. д. Таким образом, при вращении испытуемого кристалла исландского шпата, через который проходит узкий пучок окрашенного света, можно быстро отличить монокристалл от двойника. При рассмотрении кристаллов поваренной соли или флюорита наблюдатель должен увидеть одну светящуюся точку. Присутствие нескольких точек укажет на существование двойников или тройников. Следует отметить, что среди кристаллов поваренной соли очень редко встречаются монокристаллы. Для кварца наблюдается иная картина: если рассматривать светящуюся точку через гексагональную призму кварца, то при наличии монокристалла будет виден отчетливый эллипсоид, который при вращении меняет свою форму, становится почти шаровидным, сохраняя свою отчетливую форму. У двойника этот эллипсоид будет иметь вытянутую расплывчатую форму. Очевидно, что минералы с большим показателем преломления и двупреломления будут давать отчетливые сигналы.

Определение при помощи диплоскопа занимает небольшое время и не требует предварительной подготовки самого материала. Уникальные кристаллы можно подносить к прибору и производить в них определение двойников, не разрушая самих кристаллов. Кроме того, исследователь может увидеть в оптических кристаллах все дефекты — свили, трещины, включения и пр., которые выявлены по характерному отблеску при прохождении луча через кристалл.

При помощи сконструированного автором прибора было проверено значительное количество оптических минералов из среднеазиатских месторождений исландского шпата, флюорита, кварца, каменной соли и даже гипса. Для контроля монокристаллы были проверены обычными методами, что подтвердило правиль-

ность наших определений. Однако исследование монокристаллов другими методами занимает значительно больше времени и требует подготовки материала, что не всегда бывает удобно.

НЕФРИТ ИЗ ГАВАСАЯ*

После исследования И. В. Мушкетовым надгробного камня мавзолея Тимура в Самарканде, оказавшегося нефритом, возник вопрос о нахождении его в Средней Азии.

До сих пор все находки нефрита относились к прилегающим районам, а не к собственно Средней Азии (Яркент-дарья и др.). Поэтому, когда несколько лет тому назад среди уникальных образцов минералов на кафедре минералогии СазПИ была принесена вытянутая плоская светло-серовато-зеленая небольшая галька нефрита, найденная, по словам владельца камня, в Алмаатинке, это вызвало у нас тогда сомнение. Раньше считалось, что находки нефрита приурочены к областям распространения актинолитовых сланцев; что же касается обнаружения его среди змеевиков, о чем имелись указания, то при более углубленном исследовании оказалось, что находки относятся не к нефриту, а бовениту — нефритообразному змеевику. Однако за последние 25 лет советские геологи стали отмечать собственно нефритовые месторождения в связи со змеевиками; генезис этого типа образования нефрита оставался неясным. Поэтому большой теоретический интерес представила находка З. С. Румянцевой в Гавасае своеобразного «змеевика», оказавшегося нефритом. К сожалению, первооткрывательница в поле еще не знала, что своеобразный змеевик, найденный ею в осыпи, представляет такой большой теоретический интерес, поэтому она не искала его в коренном залегании.

В 1948 г. при изучении геологии Гавасая, на водоразделе между Уртасу и Янгизурюком в разведочной канаве, заложенной в озмеевикованных известняках, в осыпи нами был найден небольшой обломок нефрита. В этом осколке и в змеевиках коренного залегания имеются выделения зерен магнетита. Это свидетельствует о генетической связи нефрита с озмеевикованными известняками, являющимися экзоконтактной зоной развитых там скарнов.

При более детальном исследовании оказалось, что образец хорошо полируется и обладает обычной нефритовой вязкостью, просвечивает по краям; цвет светло-серовато-зеленый с черными крапинками магнетита, твердость 7, плотность 2,9.

Под микроскопом видна характерная войлочная структура. Тщательно отобранные образцы были подвергнуты химическому,

* Опубликовано в ДАН УзССР (совместно с З. С. Румянцевой), 1951, № 2, с. 17—18.

рентгеновскому и спектральному анализу в лабораториях Геологического института АН УзССР.

Химический анализ произведен П. Л. Прихидько: SiO_2 — 58,04; FeO — 1,23; Al_2O_3 — 0,32; MnO — 0,001; CaO — 13,60; MgO — 24,95; K_2O — нет; Na_2O — нет; потеря прокаливания — 1,12.

Спектральным анализом дополнительно найдены титан, барий, натрий и медь; хром и никель не обнаружены. Порошкограмму минерала определял С. Т. Бадалов. Характерные линии порошкограммы приближаются (иногда совершенно тождественны) к соответствующим линиям нефрита из определителя Ленинградского горного института. Это дает основание считать, что данный нефрит относится к тремолитовой разновидности. Химический состав его приближается к тремолитовому нефриту по Гинце (2, XXIII): SiO_2 — 58,07; FeO — 1,82; MgO — 24,46; CaO — 12,99. Он немного отличается по составу от нефрита из мавзолея Тимура (по И. В. Мушкетову, 1910): SiO_2 — 56,88; CaO — 11,49; MgO — 23,39; FeO — 3,46; Al_2O_3 — 1,56; H_2O — 3,14. Плотность 2,926. Яркендский нефрит: SiO_2 — 56,56—57,01; CaO — 13,27—13,22; MgO — 25,24—25,43; FeO — 0,46—0,31; Al_2O_3 — 0,04—0,91; H_2O — 3,23—3,4. Гавасайский нефрит по составу занимает промежуточное положение между нефритами Тимура и Яркенда.

Находка З. С. Румянцевой нефрита в змеевиках скарнированных известняков представляет большой теоретический интерес и требует пересмотреть вопрос образования нефрита. Нефриты, как и змеевики, образовались во внешней контактовой зоне при быстром охлаждении раствора кремнезема, попавшего в карбонатную среду, богатую магнием, кальцием и иногда железом. Спутанноволокнистые разновидности тремолита, актинолита, вероятно жадеита, тонколистчатые и лопастные змеевики и эпидоты образуются в экзоконтактовой части скарнированных зон. Так как все эти минералы зеленоватого цвета и внешне похожи друг на друга, то геологи не обращают на них должного внимания и пропускают их в поле. Вероятно, нефрит из Алмаатинки такого же генезиса, как и гавасайский. Могут ли образоваться в змеевиках экзоконтактовых зон крупные выделения нефрита, подобные камню Тимура? Не среднеазиатского ли он происхождения? Эти вопросы пока остаются открытыми. Однако мы полагаем, что такие образования в Средней Азии не только возможны, но и вероятны. Следует более внимательно осматривать озмеевикованные экзоконтактовые зоны, в которых возможны находки нефрита, а на контакте со щелочными породами — жадеита. Необходимо заново переоценить археологические находки нефрита в Средней Азии.

ЗАДАЧИ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ*

ВВЕДЕНИЕ

За последнее время во всех отраслях научного знания накопилось много фактического материала. Прошедшие дискуссии по биологическим наукам и по языкознанию показали, что накопленный фактический материал не всеми правильно понимается; очевидно и в области минералогии и геохимии наблюдается то же явление.

На Всесоюзном минералогическом совещании необходимо обсудить ряд вопросов, волнующих минералогические круги, это — вопросы направления дальнейшей работы и ее организации.

Работая долгие годы в Средней Азии, главным образом по прикладной минералогии и геохимии, автор имеет свою точку зрения по вопросу задач минералогии и геохимии. В кратком виде она изложена в настоящей статье.

Многие положения выдвигаемые нами, являются дискуссионными, их следует обсудить; если они не верны, то нужно их исправить или совершенно отбросить, а то, что достойно внимания, учесть в дальнейшей работе.

Народное хозяйство нашей страны — промышленность, сельское хозяйство и транспорт идут по пути мощного подъема. Советский народ успешно осуществляет задачу создания материальной базы коммунизма. Из года в год все больше разнообразного минерального сырья используется в нашей промышленности, все больший круг химических элементов применяется в сплавах, необходимых нашей технике. Поэтому перед минералогами и геохимиками стоит благодарная задача — выявить и освоить минеральные ресурсы нашей страны. В настоящей работе освещаются некоторые вопросы минералогии и геохимии, которые нужно разрешить советским специалистам.

Наше отечество — родина нового геохимического направления в минералогии. Из сухой морфологической науки, где высшим достижением было описание новых кристаллических форм и «раритетов», трудами В. В. Докучаева и, в особенности, его ученика В. И. Вернадского минералогия была превращена в химию земной коры. Перед ней открылись новые горизонты и возможности.

На базе химической минералогии В. И. Вернадским и его ближайшим учеником А. Е. Ферсманом была создана новая наука — геохимия. Пересматривая с этих позиций минеральные богатства России, новая минералого-геохимическая школа видела, что официальный орган министерства торговли и промышленности царской России Геологический Комитет топчется на одном месте; лишь в области изучения угля и нефти немногие ученые — И. М. Губкин, С. И. Миронов, П. И. Степанов, А. А. Гапеев и

* Опубликовано в сб. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 2, 1951, с. 3—30.

др.— шли по верному пути. Когда грянула первая мировая война, то благодаря близорукому пониманию развития промышленности, в царской России не оказалось ни своей серы, ни бора, ни калия, ни плавикового шпата, ни вольфрама, ни олова, ни даже хрома. Тогда энергией В. И. Вернадского и его ближайших учеников при Академии Наук в Петрограде была создана Комиссия естественно-производительных сил (КЕПС) и в Москве — Рудная секция Союза земств и городов (ЗЕМГОР). Эти организации возникли потому, что передовая научная общественность видела всю нелепость положения, при котором огромная страна, таящая в себе неограниченные потенциальные богатства, не добывает минерального сырья, столь необходимого для обороны.

Трудами большого коллектива геологов положение в стране начало выправляться. Это было достигнуто после упорного труда и большой идеологической борьбы. Надо учесть, что в то время не было никакого опыта, что в высшей школе было много профессоров, которые мечтали о чистой науке, что прикладная минералогия и другие прикладные науки не признавались. Когда в 1916 г. в «Рудном Вестнике» автор опубликовал свою статью «Нам нужно иметь свою серу», в которой делалась попытка показать, что у нас имеются свои серные месторождения, в журнале «Поверхность и Недра» появилась резкая критика этой статьи, утверждавшая, что у нас не может быть серных месторождений. Тогда же в «Рудном Вестнике» Н. И. Сургунов писал о калии в рассолах Соликамска, и это тоже было поставлено под сомнение.

При советской власти были сброшены не только политические и экономические оковы, но и идеологические. Только теперь мы научились ценить отечественную науку и стали критически смотреть на измышления зарубежных ученых. Однако преклонение перед зарубежными «авторитетами» у некоторых наших ученых до сих пор не изжито.

КЕПС собрал вокруг себя большой коллектив минералогов и геохимиков, которые проделали огромную работу по выявлению минерального сырья. Ученики В. И. Вернадского, Ф. Ю. Левинсона-Лессинга и Н. С. Курнакова во главе с А. Е. Ферсманом начали разрешать проблемы комплексного использования минерального сырья как на севере в Хибинах, так и на Урале, в Сибири и в Средней Азии. В Москве рудная секция ЗЕМГОР делала важное дело объединения московских учеников В. И. Вернадского для выявления минерального сырья, причем большую положительную роль в этом деле играл В. В. Аршинов, организуя молодежь вокруг Института «Литогеи», и В. А. Обручев, который консультировал и направлял тогда научно-прикладные работы. Эти правильные начинания имели огромный успех. Из КЕПСа и «Литогеи» после революции вырос целый ряд научно-исследовательских институтов; особенно следует отметить ВИМС, который вырос непосредственно из «Литогеи».

Размах геологических работ при советской власти можно видеть в создании Министерства геологии, у которого имеются свои районные управления и отраслевые институты. Кроме того, у ряда министерств организованы свои Главгеологии и отраслевые институты; расширился Институт геологических наук Академии Наук СССР, а в филиалах АН СССР выросли Геологические институты; созданы республиканские Академии Наук с геологическими институтами. В высших учебных заведениях, число которых в настоящее время неизмеримо возросло в сравнении с царской Россией, при горных и геологических факультетах организованы кафедры минералогии и геологии, ведущие большую научно-исследовательскую работу. В этих учреждениях, разбросанных по всему Советскому Союзу, работают тысячи геологов над минералого-геохимическими вопросами.

Теперь в Советском Союзе известны промышленные месторождения почти всех химических элементов, и на базе собственного минерального сырья выстроены гиганты социалистической промышленности.

В очень короткий срок под руководством коммунистической партии и правительства советские геологи, горняки и рабочие проделали огромную работу.

Строительство крупнейших в мире гидроэлектростанций на Волге, Днепре, Главного Туркменского канала и других открывают новые невиданные возможности. Перед геохимиками и минералогами, как и перед всеми учеными нашей страны, ставятся благородные задачи изучения и освоения земель и недр Прикаспия, Крыма, низовьев Волги и Днепра.

Для осуществления этих грандиозных по масштабу работ необходимо приложить все усилия. Мы, минералоги и геохимики, прежде всего должны изучить минеральное сырье этих районов.

Всесоюзное минералогическое совещание должно объединить и направить работу огромного коллектива минералогов и геохимиков.

Для выявления минерального сырья минералогия и геохимия должны идти одним путем. Минералогия является химией земной коры, изучающей молекулы, а геохимия изучает историю атомов в земной коре. Нельзя изучать минералогию без истории атомов, так же как нельзя изучать историю атомов в земной коре без химии земной коры.

Для более планомерного и углубленного изучения минерального сырья необходимо разрешить три основные задачи:

I. Теоретическую — расширить и углубить теоретическую базу минералогии и геохимии.

II. Прикладную — на теоретической базе применительно к требованиям народного хозяйства изучить и выявить минеральное сырье и расширить круг его использования.

III. Методическую — для подготовки квалифицированных кадров пересмотреть требования, предъявляемые к программам и учебникам по минералогии и геохимии.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Идя по пути, намеченному В. И. Вернадским, и рассматривая минералогию как химию земной коры, а геохимию как историю атомов в земной коре, нам, прежде всего, следует пересмотреть принятые классификации минералов и само определение понятия минерал, так как старые классификации нас удовлетворить не могут.

Минералогия разрослась и имеет большой объем, но этого мало, в ней необходимо развивать следующие разделы:

1. История минералогии.
2. Минералогические музеи и заповедники.
3. Минералогическая библиография (учебники, журналы, справочники, популярная минералогия).
4. Теоретическая минералогия:
 - а) структурная (изучение структур пространственных решеток минералов);
 - б) химическая;
 - в) физическая;
 - г) коллоидная;
 - д) радиоминералогия (явления радиоактивности в минералах);
 - е) генетическая.
5. Экспериментальная минералогия:
 - а) собственно-экспериментальная;
 - б) синтетическая;
 - в) методика определения минералов;
 - г) описание аппаратуры, применяемой в минералогии.
6. Описательная минералогия:
 - а) морфология минералов;
 - б) систематика минералов земной коры и метеоритов;
 - в) общая описательная минералогия земной коры;
 - г) оптическая минералогия;
 - д) минералогия интрузивных и вулканических пород;
 - е) « пегматитов;
 - ж) « гидротермолитов;
 - з) минералогия метаморфических образований (включая скарны);
 - и) « осадочных пород;
 - к) « почв;
 - л) « коры выветривания;
 - м) « угля и нефти;
 - н) « растворимых солей;
 - о) « минерального сырья;
 - п) рудная минералогия и минераграфия;
 - р) минералогия редких и рассеянных элементов;
 - с) « россыпей и шлиховой анализ;
 - т) « радиоактивных элементов;

- у) топоминералогия или региональная минералогия.
- 7. Полевая минералогия (раздел полевой геологии).
- 8. Минералогия метеоритов.
- 9. Биоминералогия (минералы в живых организмах).
- 10. Техничко-минералогия (минералогия цемента, керамики, шлаков, сплавов и т. д.).

Минералогия и геохимия должны изучать процессы минералообразования, генерации минералов, их парагенезис и ассоциации. Следует развивать учение В. И. Вернадского о парагенезисе химических элементов и об их изоморфизме.

Геохимия в первую очередь должна разрешить самую важную задачу — историю атомов в земной коре, т. е. геохимию отдельных элементов.

В геохимии, как и в минералогии, необходимо развить (не выделяя их в самостоятельные науки) следующие разделы:

1. История геохимии.
2. Геохимические музеи.
3. Геохимическая библиография (учебники, журналы, справочники, популярная геохимия).
4. Теоретическая геохимия.
5. Экспериментальная геохимия:
 - а) собственно экспериментальная геохимия;
 - б) синтетическая геохимия (синтез минерального сырья руд и пр.);
 - в) лабораторные методы геохимических исследований.
6. Геохимия процессов — химия геопроцесса:
 - а) геохимия метеоритов;
 - б) « магмы и лавы;
 - в) « газов;
 - г) « воды;
 - д) « пегматитов;
 - е) « гидротермолитов;
 - ж) « метаморфизма (включая геохимию скарнов);
 - з) геохимия осадочных образований;
 - и) биогеохимия;
 - к) геохимия почв;
 - л) геохимия коры выветривания;
 - м) « россыпей;
 - н) « растворимых солей.
7. Описательная геохимия:
 - а) статистическая геохимия (химический состав горных пород, руд, минерального сырья, вод, газов, распространенность химических элементов в земной коре);
 - б) геохимия макроэлементов (кремний, алюминий, углерод и т. п.);
 - в) геохимия редких и рассеянных элементов;
 - г) « радиоактивных элементов;
 - д) « изотопов;

- е) « угля;
- ж) « нефти;
- з) « минерального сырья;
- и) « рудных месторождений;
- к) топогеохимия или региональная геохимия.

8. Радиогеология (включая определение абсолютного возраста земли).

9. Полевые методы геохимических исследований.

При рассмотрении литературы и отчетов по минералого-геохимическим работам прежде всего обращает внимание неравномерность развития отдельных разделов минералогии и геохимии, что не вполне благоприятно отражается на прогрессе этих наук.

Не останавливаясь на особенностях всех перечисленных разделов, что является предметом особой работы, отметим лишь некоторые характерные моменты. Для того, чтобы не повторяться в описании одноименных разделов минералогии и геохимии, рассмотрение их будет объединено.

До сих пор еще не написан полный советский определитель минералов, который основывался бы не только на новейших методах исследования минерального вещества, но и отражал весь накопленный опыт по изучению минералов.

Имеющиеся определители не отвечают предъявляемым требованиям, так как они далеко не полны; кроме того, в них пропущен целый ряд минералов и не использованы все методы исследования. Так, отсутствуют кривые нагревания и обезвоживания, люминесценция, метахроматизм, порошкограммы, полные химические анализы и их пересчеты на формулы и т. п.

Советская минералогическая общественность вправе требовать от ведущих минералогов нашей страны составления полного определителя. Нам кажется, что это требование мы можем предъявить проф. Н. А. Смольянинову, лучшему знатоку определительной минералогии, который смог бы со своими учениками написать советский определитель минералов.

1. История минералогии и геохимии

История минералогии и геохимии до сих пор еще на русском языке не написана. Не следует думать, что история минералогии является только изложением некоторых сведений о деятельности выдающихся минералогов и геохимиков. Автор привел 10 разделов минералогии и 9 разделов геохимии; каждый из этих разделов имеет свою историю и все они органически связаны друг с другом. История любой науки, в том числе и наших наук, связана с историей народа и развитием его хозяйства, что следует учесть при составлении истории минералогии и геохимии.

В первую очередь необходимо осуществить работу по истории геологических наук в СССР с древнейших времен до наших дней

с разделами по минералогии и геохимии, намеченную Институтом геологических наук Академии Наук СССР.

Следует довести до конца, начатую А. Е. Ферсманом «Историю камня в истории культуры». Его ближайшие ученики Д. И. Щербаков и А. А. Сауков должны организовать осуществление этой чрезвычайно интересной работы.

Кроме того, следует написать историю открытий и исследований минералов отдельных геологических регионов — Урала, Кавказа, Средней Азии, Сибири и т. п.

Отдельно необходимо дать историю методов исследования и в особенности историю изобретения новых приборов по изучению минералов и вообще минерального сырья; в этом отношении большую пользу могли принести опыт и знания В. В. Аршинова.

Следует написать отдельную книгу, посвященную возникновению и развитию новых идей в минералогии, геохимии и кристаллографии.

Необходимо А. А. Мамуровскому довести до конца свою большую работу об естественных камнях в строительном деле.

На русском языке нет полного минералогического словаря, если не считать устаревшие словари В. М. Севергина и других авторов. О. М. Шубникова уже давно работает над составлением такого словаря, желательно, чтобы этот труд был быстрее закончен. В словаре, кроме названия минералов, должна быть приведена формула или химический состав.

1а. К этому разделу, а также и к разделам теоретической и описательной минералогии относится составление сводок.

Одной из очередных задач минералогов и геохимиков является создание сводок по минералогии и геохимии. Полная сводка «Минералы СССР» до сих пор еще не закончена. Эту работу необходимо довести до конца так же, как следует составить региональные сводки по минералогии Средней Азии, Казахстану, Сибири, Кольскому полуострову и т. д. Кроме большой сводки «Минералы СССР», составленной по классификации, основанной на типе химического соединения, отчего ее практическое значение значительно умалено, следует составить такую же полную сводку по ведущему химическому элементу для того, чтобы наше правительство и производственники сразу могли бы видеть, какие химические элементы в нашей стране имеются, в какие минералы они входят и где находятся. Такая сводка для планирующих организаций явилась бы настольной книгой.

Минералы являются станциями на пути движения химических элементов в земной коре; поэтому прежде всего необходимо изучить путь движения элементов по их станциям. До сих пор нет еще полных сводок минералов по содержанию в них химических элементов. В этом отношении имеются лишь небольшие сводки иностранных авторов и попытка автора данной статьи, которые являются совершенно недостаточными. Мы не знаем всех мине-

ралов, содержащих даже самые распространенные элементы, такие, как кремний, алюминий, железо и пр. Как можно говорить о геохимии какого-либо элемента, когда неизвестно даже, в какие минералы он входит? В геохимии Г. Берга имеется такое утверждение, что фосфор и бор друг другу противопоказаны. Вместе с тем уже давно известен минерал люнебургит, содержащий одновременно и бор, и фосфор ($3\text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).

Всякие выводы геохимического характера о распространенности того или иного элемента, о сочетании его с другими элементами, о взаимной их исключаемости и т. п. можно делать лишь после того, как будут составлены такие сводки большим коллективом минералогов. Составлению их препятствуют принятые до сих пор классификации минералов по типу химического соединения и по типу пространственной решетки. Не отрицая значения типа химического соединения и типа пространственной решетки, автор считает, что оно в настоящее время слишком переоценено, а значение самого химического вещества умалено. Кроме общих геохимических построений, которые невозможно правильно сделать до тех пор, пока не будут составлены такие сводки, также невозможно дать региональной геохимии, если для данного региона не будет сделана эта работа. Всякие прогнозы будут случайными и в редких случаях удачными.

В свою очередь, правильное понимание минералов, проверка их химических и физических свойств, предсказание новых минералов, понимание их генезиса и парагенезиса, все это возможно сделать без особых затруднений, опираясь на указанные сводки.

На ряде минералогических совещаний автора упрекали в том, что в его классификации минералов исчезли группы карбонатов, сульфатов и т. п. С внешней стороны упреки правильные, но если хорошенько вдуматься в это положение, то оказывается, что оно основано на недоразумении. Рассмотрим случай с карбонатами: обычно они делятся на безводные и водные, первые, в свою очередь, на ромбоэдрические — группа кальцита и на ромбические — группа арагонита. Получается стройная и внешне красивая система. Однако на вопрос докладчика на одном из таких совещаний — имеется ли минерал карбонат лития, никто из присутствующих минералогов ему не смог ответить, хотя известно, что карбонат лития слабо растворяется в холодной и горячей воде. Следовательно, такой минерал, вероятно, будет найден, но его еще не искали, так как не было соответствующей направленности. Предсказания новых минералов и их свойств возможны при использовании таких сводок.

Как было сказано, минералогия и геохимия теснейшим образом связаны друг с другом и эту связь следует закреплять, а не уничтожать. Полное отделение минералогии от геохимии и геохимии от минералогии поведет к упадку и той и другой наук, а не к их развитию, как думают некоторые специалисты.

2. Минералогические и геохимические музеи и заповедники

Одна из основных задач минералогов и геохимиков — создание минералогических музеев. Самым существенным и наглядным пособием в деле воспитания минералогов и геохимиков являются образцы минералов. Осмотр даже плохих образцов дает гораздо большее представление о минерале, чем самое талантливое его описание. Необходимо собирать минералы и хранить их в музеях, как наиболее верные и наглядные пособия. Минералогические коллекции нужны не только для специалистов минералогов или студентов, но и для производителей, для планирующих и руководящих органов. В музеях следует хранить, как в архиве, все анализированные минералы, измеренные кристаллы, изученные шлифы и пр.

В дореволюционной России количество минералогических музеев было очень ограничено. Музеи были в Петербурге, Москве, в немногих городах, где были высшие учебные заведения (Казань, Харьков, Киев, Варшава, Юрьев, Рига, Новочеркасск, Одесса, Томск), при горных округах или обществах (в Екатеринбурге, Иркутске, Ташкенте, Тифлисе), при немногих рудниках; кроме того, минералогическими коллекциями владели некоторые частные собственники, любители минералогии.

После революции картина резко изменилась. Старые музеи значительно пополнились и появились новые. На XVII Международном геологическом конгрессе в Москве иностранные геологи с удивлением отмечали существование большого количества в СССР геологических музеев с минералогическими отделами. В деле создания музеев у нас имеются чрезвычайно большие достижения: однако на этом не следует успокаиваться.

В музеях хранится накопленный материал, собранный в течение ряда лет. Некоторые рудники имеют большую историю,ходящую до двухсот лет. По мере углубления горных работ шел сбор минералов, которые характеризуют разные горизонты вскрытого месторождения. Собрание таких минералов представляет большую научную ценность, также большую научную ценность представляют и сборы минералов разных генераций. Музеи являются не только архивом, но и ведут большую научную работу.

Всем минералогам известен прекрасный музей Академии Наук СССР. Корифеи нашей науки Ломоносов, Севергин, Кокшаров, Вернадский, Ферсман много уделили времени в своей работе процветанию этого прекрасного учреждения, чему также способствовал долгие годы работавший там В. И. Крыжановский. Сплоченный и преданный своему делу коллектив минералогов, работающих в музее, много сделал для пополнения его, но этого недостаточно.

Всего известно более 3000 минералов земной коры. Разные исследователи считают, что их от 2000 до 3500, автор предполагает значительно больше. Из этого количества в СССР известно

около 1700 минералов земной коры, а в музее Академии Наук имеется от 1200 до 1300, при общем количестве образцов от 90 000 до 95 000. Следовательно, крупнейший музей Советского Союза имеет менее 50% общего количества известных минералов земной коры. Музей Академии Наук является нашей национальной гордостью, но один коллектив работников музея не может пополнить коллекции музея, ему нужна помощь. Все мы должны помогать музею. В первую очередь музей должен быть пополнен минералами, открытыми в СССР и ранее в России. Кроме того, музей должен быть пополнен коллекциями из известных рудников, так как эти коллекции недостаточно полны. Для иллюстрации последнего положения можно привести следующие примеры: известное месторождение — гора Высокая и Меднорудянк, которые фактически являются одним месторождением, по данным В. Г. Сумина, характеризуются 121 минералом. По литературным данным, там известно около 90 минералов, а в музее из этого количества представлены только 40 разных минералов, хотя общее количество образцов из этого месторождения значительно больше. Все это говорит о том, что геологическая общественность не уделяет достаточного внимания нашему общему делу — созданию Всесоюзного музея. Плохо создаются музеи и в провинции. Иногда провинциальные музеи закрываются, коллекции становятся беспризорными и теряются.

Несмотря на эти недостатки, все же в Советском Союзе имеется очень много музеев, в которых хранятся ценнейшие материалы. Однако до сих пор нет опубликованных каталогов минералогических музеев. Геологическая общественность до сих пор не знает, в каких музеях нашей страны можно посмотреть тот или иной минерал, где находятся те 1700 минералов, которые описаны для Советского Союза.

Минералогический музей АН СССР должен взять на себя почин опубликования таких сведений. Можно предполагать, что в разных музеях нашей страны имеется не 50% известных минералов земной коры, а значительно больше.

Музеи являются народным достоянием, в них скапливаются недра нашей страны, они учат нас и расширяют наши горизонты.

Одна из основных задач советских минералогов заключается в том, чтобы не только найти и описать все известные минералы земной коры, но и выявить новые и передать их для хранения в наш Всесоюзный музей.

В союзных и автономных республиках, в краевых и областных центрах необходимо продолжать развитие музейного дела, пополнив коллекции из местных месторождений.

Кроме минералов земной коры, в минералогическом музее Академии Наук СССР хранятся и минералы метеоритов. Нам кажется, что там следует хранить биоминералы и техноминералы.

В Советском Союзе имеется ряд заповедников, среди которых наибольшей известностью пользуется Ильменский, основанный в

1920 году по декрету В. И. Ленина. С тех пор сокровища этого природного музея охраняются. В ряде областей и республик Советского Союза имеются пещеры с чудесными сталактитами и сталагмитами или с нарощими на стенах кристаллами; крупнейшие кристаллы различных минералов встречаются в горных выработках, однако, не всегда они сохраняются, а иногда их варварски разрушают. Так были почти полностью уничтожены исключительные по красоте баритовые кристаллы в Баритовой пещере. Нам необходимо взять на учет все пещеры и выработки с исключительной минерализацией, требуется не только их охранять, но и изучать. В Ильменском заповеднике до 1920 г. было известно 80 минералов, теперь там найдено 114 минералов, а их, вероятно, раза в два больше. Охраняя минералогические заповедники, мы помогаем нашей смене лучше изучить природу в ее нетронутom состоянии.

3. Теоретическая минералогия и геохимия

Чем глубже разработанная теория, тем больше возможностей у техники. Поиски, разведка, исследование и использование минерального сырья нуждаются в углубленной теоретической базе в области минералогии и геохимии. В настоящей работе не представляется возможным осветить все вопросы теории минералогии и геохимии, да это и не требуется. Автор обращает внимание только лишь на некоторые положения, имеющие дискуссионный характер, так как общепринятые не нуждаются в особых комментариях.

В. И. Вернадский считал минерал продуктом химических реакций, протекших естественным путем в земной коре. Уточняя это понятие, мы называем минералом такое твердое тело, в котором один или несколько химических элементов в виде атомов или ионов закономерно соединились в пространственную решетку и выделили или поглотили при этом определенное количество энергии. Такое тело обладает присущими ему физическими и химическими свойствами, которые можно установить при помощи современных методов исследования. Исходя из этого определения, прежде всего следует, что работа минералогов должна идти в тесном контакте с кристаллографами. Не следует забывать, что кристалл является индивидуумом минерала.

Современная минералогия пока занимается, главным образом, изучением минералов земной коры и метеоритов. Только лишь школа акад. Д. С. Белянкина успешно работает над изучением искусственных минералов, полученных в металлургической и силикатной промышленности. Это направление следует поддерживать и развивать, но этого совершенно недостаточно. Минералы могут образоваться и в живых организмах. У нас в Советском Союзе В. И. Вернадский создал новое направление в геохимии (геохимия как наука была создана главным образом

трудами А. Е. Ферсмана) — биогеохимическое. К сожалению, последователи В. И. Вернадского, развивая его учение, отошли от основной базы геохимии — минералогии и вовсе не занимаются изучением минералов в живых организмах. Наука о мертвом веществе — минерале имеет тесный контакт с наукой о живом веществе — биологией. Как биология выигрывает, если она использует для своих целей результаты работ минералогов, так выигрывает от этого и сама минералогия и в особенности геохимия. Невозможно понять процессы образования угля, нефти и битумов без знания биогеохимических процессов, что связано с пониманием биоминералогии. Не следует думать, что процессы образования угля, нефти и битумов не влияют на образование минералов в осадочных породах. Докладчик в своей работе «Парагенезис серы и нефти» показал, что нефтяные воды производят огромную работу минералообразования.

Теперь следует перейти к вопросу разграничения объектов исследования собственно минералогии и геохимии. В. И. Вернадский, как геохимик, считал, что не только твердые тела, но и вода, и газы являются минералами.

В природе происходят процессы концентрации или стяжения вещества и его рассеяние. Эти взаимно связанные противоположные процессы создают разные категории вещества. Концентрация вещества создает минералы, в которых атомы или ионы движутся вокруг центров своих равновесий в пространственных решетках. Рассеяние ведет к другому состоянию вещества и, в частности, к образованию жидкости и газа. В жидком и газообразном состоянии вещество самостоятельно передвигается иногда на очень большие расстояния, вплоть до космических. Понятно, при взрывах космических тел образуются метеориты и метеоритная пыль, т. е. твердые тела, которые летят на большие расстояния; сами планеты, состоящие из твердых тел, непрерывно перемещаются, но это явление другого порядка. В земной коре перемещение вещества в главной своей части происходит в жидком и газообразном состоянии. Следует ли нам считать жидкость и газ минералами или только минеральными образованиями? Автор полагает, что минералом нужно считать только твердые тела, к которым следует также отнести коллоиды и аморфные вещества, т. е. те тела, которые образуются благодаря процессам стяжения; тела же, образованные рассеянием, следует называть, как обычно, жидкостью и газом.

Минералогия занимается не только изучением минералов земной коры и условиями их образования и изменения, но она также занимается и изучением метеоритов; вместе с тем она должна заниматься и теми минералами, которые образовались в живых организмах; следует продолжать изучение искусственных минералов.

Геохимия должна заниматься не только изучением твердых тел земной коры — минералами и их пространственными решет-

ками, но обязана заниматься газами и водами земной коры. Зная твердую фазу — этап движения вещества или его станцию, т. е. минерал (закономерное сочетание атомов или ионов в пространственную решетку) и газ, и жидкость, в которых перемещались атомы, или молекулы в коллоидальных растворах, можно говорить об условиях образования месторождений полезных ископаемых.

Не касаясь вообще условий их образования, здесь следует остановиться только на некоторых моментах. Выше уже говорилось относительно того, что вещество передвигается в земной коре в жидком или газообразном состоянии благодаря внешним или внутренним силам земной коры. Если внешние силы более или менее ясны и понятны, то внутренние до сих пор для нас неясны. Старая Канто-Лапласовская гипотеза не может объяснить всех явлений образования земли. Акад. О. Ю. Шмидт создал новую глубоко обоснованную космогоническую теорию, но и в ней вопрос о вулканическом и магматическом тепле остался неясным. Существует ли единая магма или их множество? Стабильны ли химические элементы в земле или они переходят друг в друга? Происходят ли атомные (ядерные) взрывы в земле или нет? В связи с этим или иным решением этих вопросов стоит ответ о магме, магматическом растворе, зональном или незональном распределении химических элементов и их парагенезисе. Пятнадцать-двадцать лет тому назад, казалось, эти вопросы были решены, теперь же старые положения поколеблены, а новые не доказаны. Одной из основных задач геохимии является подбор фактов и наблюдений, постановка экспериментов, которые могли бы правильно объяснить эти основные положения.

Автор считает, что В. И. Вернадский был прав, когда, выступая со своим докладом о радиогеологии на XVII Международном геологическом конгрессе в Москве в 1937 году, говорил, что земля никогда не была расплавленной, что теплота земной коры обязана внутриаомным реакциям — радиоактивному распаду; что одни элементы нарождались, а другие исчезали. В. И. Вернадский тогда ставил вопрос: «Не было ли времени, когда на земле существовали атомы и химические реакции, ныне в ней отсутствующие — элементы № 61, 83, 87, 93, 94, 95, 96? Не исчезли ли они уже в главной своей массе к нашей эпохе. Во что, кроме гелия, они превратились? И не было ли времени, когда поверхность планеты — в доархейское время — была расплавлена благодаря радиоактивному теплу? Геолог должен уже теперь научно учитывать это возможное или вероятное явление и искать проявление его в научных фактах».

Кроме того, В. И. Вернадский подчеркивал, что атомный распад в земной коре не был в своем темпе длительным и большого масштаба, поэтому он не разрушал землю; в противном случае наша планета не существовала бы. «В пределах геологического времени таких катастроф не было».

В. И. Вернадскому тогда не были еще известны взрывы в связи с атомными (ядерными) реакциями, но он их предвидел.

Таким образом, новая установка была жизнеутверждающей, а не такой пессимистической, как старая, гласившая, что все затухает, подчинено закону энтропии, сводившей все на один уровень, что земля остынет и «Гомо сапиенс» замерзнет в ледяной пустыне.

Для решения этих трудных вопросов нужна направленная работа большого коллектива геологов, вернее геохимиков.

Геохимики совершенно не уделяют должного внимания другому не менее интересному вопросу — раствору, связанному с магматическими явлениями. Обычно для объяснения характера таких растворов приводятся сравнения с вулканическими проявлениями. Являются ли продукты магматической и вулканической деятельности одинакового порядка или разного? Во многих курсах рудных месторождений и в крупных монографиях часто приводятся такие положения, что из магмы выделяются кислые растворы, что железо, вольфрам и др. перемещаются в виде хлоридов. Для объяснения этого явления приводятся разные химические уравнения и даже дается их графическое объяснение. При всем интересном объяснении явления забывается самая обыкновенная вещь, известная в аналитической химии, что кремнезем не перемещается в солянокислом растворе, а выпадает из него.

Как происходит выпадение минерального вещества из раствора и как образуются минералы — этот вопрос является совершенно неясным, он нуждается в серьезном пересмотре. До сих пор считается, что кристаллическое вещество из раствора образуется путем осаждения ионов в единую непрерывную пространственную решетку. Если вспомним пример с гигантским кристаллом сподумена из пегматитовой жилы Южной Дакоты, то по этой гипотезе получается так: все замерло, только ионы лития, алюминия, кремния и кислорода стремительно бросились друг к другу и начали строить цепочку сподумена длиной в несколько метров. Когда кончился рост такого гигантского кристалла, только после этого начали образовываться остальные минералы. Объяснить образованные параллельных вростков кристаллов турмалина в кварце или кварца в полевоом шпате и т. п. никак нельзя, если считать, что кристаллы минерала образуются из ионизированного раствора путем оседания ионов. Что же, образовавшиеся кристаллы висели в растворе или шло чередование, сначала образовался кристалл полевого шпата, после выделился кварц, снова полевоый шпат, облекающий кварц, потом опять кварц и т. д.? Вряд ли в природе происходит такое явление. Вероятно сначала из раствора выделяется коллоид, причем трещины или пустоты заполняются желеобразной массой, состоящей из выделившихся протокристаллов минералов, а после уже путем стяжения вещества начинается притягивание протокристаллов друг к другу и образование более крупных индивидуумов. Чем крупнее кристалл минерала, тем дольше шел его рост, который зависит от медленного понижения температуры раст-

вора. Если же температура пульсировала, то могло происходить частичное или даже полное растворение кристаллов и новый их рост.

Исходя из этих положений, следует считать, что так называемый возрастной критерий образования минералов по пересечению одних минералов другими является совершенно неубедительным; также неубедительно объяснение образования твердых, жидких и газообразных включений в кристаллах минералов. Необходимо пересмотреть этот вопрос с данных позиций. В связи с этим, при исследовании в поле месторождений полезных ископаемых, необходимо обращать особое внимание на размеры кристаллов минералов и на величину кристаллов отдельных генераций. Это требуется не только для понимания генезиса месторождений, но и для практических целей — обогащения полезных ископаемых. Величина отдельных кристаллов зависит не только от условий падения температуры исходного маточного раствора, но и от самого вещества, и от стимулирующего действия присутствующих в растворе посторонних веществ; так жадеит, змеевик антигоритовый, каолин, пирофиллит и ряд других минералов никогда не образуют крупных кристаллов, в то время как кварц, полевой шпат, слюда, сподумен, берилл и др. при благоприятных условиях могут образовать гигантские кристаллы. Этот вопрос имеет большое практическое значение, поэтому на него следует обратить особое внимание.

В обычной минералогической работе не обращают должного внимания на разницу в химическом составе магматогенных и вулканогенных минералов, а между тем она существует. В магматических условиях происходит более полное разделение металлогенных химических элементов, в особенности тяжелых, которые не входят в пространственные решетки алюмосиликатов и силикатов. Эти элементы экстрагируются из магмы и уходят в пегматиты, гидrolиты и скарны. Для такого разделения требуется значительное время и медленный спад температуры; в вулканических проявлениях для этого не хватает времени, так как процесс происходит быстро, резко падает температура. Желательно минералогам и геохимикам это учесть и использовать для решения практических задач.

Для выяснения геологической обстановки месторождений полезных ископаемых необходимо знание возрастных соотношений пластов и свит, которые в ряде случаев бывают немymi. Для уточнения этого вопроса прибегают к минералогической корреляции. Некоторые группы минералов являются чрезвычайно устойчивыми и долго сохраняются в осадочной толще без заметных изменений. Изучение таких минералов надежное средство для корреляции отдельных свит и даже пластов этих свит. Для более крупных подразделений немых толщ следует прибегать к определению их абсолютного возраста по присутствующим в них радиоактивным минералам и новообразующимся продуктам распада. Следует отме-

тить, что за последнее время наши геохимики почти не уделяют внимания этому важному вопросу.

Для более правильного понимания месторождений нужно усилить изучение изотопического состава некоторых химических элементов: водорода, кислорода, серы, углерода и некоторых других, выбирая для этого минералы, собранные с учетом геологической обстановки. На этом вопросе следует несколько остановить внимание исследователей.

Необходимо установить различие в изотопическом составе элементов в минералах разного генезиса с учетом предшествующей геологической истории данного района. Если будут изучаться образцы минералов из Средней Азии и, конкретно, из западных дуг Тянь-Шаня, то надо иметь в виду, что минеральное вещество в этой складчатой зоне многократно поднималось вверх и погружалось на большие глубины, происходило плавление и ассимиляция боковых пород. Процесс повторялся много раз. Следовательно, в этом районе для разного возраста горных пород разница в изотопическом составе кислорода не будет особенно характерна. В то же время у жильного кварца, кислород которого заимствован из магматогенного раствора, и метасоматического кварца, вещество которого заимствовано из боковых пород, изотопический состав кислорода будет, вероятно, разный. Жильные алуниты гидротермального происхождения и вулканические типа Заглика, вероятно, будут иметь разный изотопический состав кислорода.

Одной из характерных геохимических констант является кларк элемента, частота или распространенность в земной коре. Автору кажется, что термин «кларк» неудачный, так как распространенность химических элементов в земной коре много занимались и русские ученые — В. И. Вернадский, П. Н. Чирвинский, А. Е. Ферман и др., поэтому термин лучше всего заменить «распространенностью». Геохимикам на основании новейших данных следует пересмотреть распространенность химических элементов в земной коре.

Для получения минералов определенного качества по оптическим свойствам, электропроводности, теплопроводности, звукопроводности, твердости и т. п. необходимо продолжать заниматься синтезом минералов. Синтез минералов необходим и для выяснения генезиса минералов и структуры их пространственной решетки.

Для понимания не столько структуры пространственной решетки, сколько структуры реального кристалла, необходимо провести комплексные исследования определенных групп минералов преимущественно двойных и тройных солей; для этой цели требуется прибегнуть к термическому исследованию и после к рентгеновскому. Автор считает, что реальный кристалл состоит из протокристаллов. Такой минерал как доломит, по мнению автора, состоит из протокристаллов кальцита и магнезита. На кривой нагревания вначале наблюдается эндотермический прогиб от разло-

жения протокристаллов магнезита, после получается эндотермический прогиб от разложения протокристаллов кальцита. Рассматривая с этой стороны смешанные кристаллы и подвергая их комплексному термическому и рентгенографическому исследованиям, можно выяснить структуру кристаллов.

Кроме этого, необходимо продолжить столь успешно начатую работу Н. В. Белова по выявлению структур пространственных решеток минералов земной коры. В этой работе должны принять участие не только кристаллографы, но и минералоги, так как только при совместной работе возможны правильные решения этого вопроса.

В связи с работой по выяснению кристаллохимических структур стоит пересмотр понятий: что такое минерал, его вид, подвид, семейство, группа и т. д. Кроме того, необходимо уточнить написание формул минералов. Заранее можно сказать, что не следует усложнять эти формулы, так как большинство не только геологов, но и минералогов не сможет запомнить дробные цифры новых формул минералов; кроме того, при сопоставлении формул с дробными цифрами не получается четкой картины для правильного понимания химического состава минерала.

Не останавливаясь на остальных разделах проблемного характера по вопросу углубления наших теоретических знаний, необходимых для расширения нашего кругозора в области минералогии и геохимии, перейдем теперь к рассмотрению другой задачи.

II. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ

Составление полных сводок минералов по содержанию в них химических элементов поможет ответить на вопросы, что искать, как искать, где искать?

1. Что искать? В связи с развитием народного хозяйства появляется потребность в том или ином химическом элементе или минерале, обладающем определенными качествами; поэтому вопрос о том, что искать, в настоящее время ставится в иной плоскости, чем это делалось несколько лет тому назад. Теперь требуется искать прежде всего то, что нужно народному хозяйству. Поэтому нам, минералагам и геохимикам, в первую очередь необходимо заняться изучением минералогии и геохимии железа и углерода, кроме того, следующих элементов: свинца, бария, меди, вольфрама, молибдена, ванадия, ртути, серы, хлора, калия, редких и рассеянных элементов и др. До сих пор мы мало знаем минералогию и геохимию таких известных и распространенных элементов, как кислород, водород, кремний, алюминий, углерод, азот, сера, фосфор, бор, хлор, бром, йод, натрий, калий, кальций, магний, железо, марганец, ванадий, барий, стронций. Плохо мы знаем минералогию редких, рассеянных и тяжелых элементов. Геохимия и минералогия некоторых из них освещена в специальных монографиях, но все же неплохо было бы сделать более новые сводки.

Теперь перед советскими учеными поставлена благородная задача — принять участие в преобразовании природы. Строительство двух крупнейших в мире гидростанций на Волге и Днепре и Туркменского канала вдохновляет нас на новые трудовые подвиги. Минералогии и геохимии должны принять участие не только в изучении строительных материалов, необходимых для инженерных сооружений, но только в изучении химического режима вод и почв, но они должны заняться исследованием недр низовья Волги, Днепра, Прикаспия и Крыма.

Кроме огромных сельскохозяйственных возможностей эти районы являются своеобразными геохимическими узлами.

Нам предстоит продолжить разрешение важнейших народнохозяйственных задач: проблему Большого Донбасса, Большого Кривого Рога, Большого Урала, нашего Севера; не следует ослаблять внимания в разрешении проблемы редких, рассеянных и драгоценных элементов, цветных и тяжелых металлов.

Нам необходимо продолжить работу по изучению минерального сырья для огнеупоров, керамики, изоляции, наполнителей, цемента, стекла, красок, агрономических руд, химического и другого сырья — строительного, поделочного и драгоценного камня.

Автор не ставил своей целью охват всех народнохозяйственных задач, в особенности задач местного значения. В каждой союзной и автономной республике, крае и области имеются свои задачи; многие из них имеют общесоюзное значение, — все они должны разрешаться без ущерба общему делу.

2. Как искать? При изучении месторождений полезных ископаемых собираются и изучаются минералы. В настоящее время при оформлении и передаче в производство месторождения полезных ископаемых требуется детальная минералогическая характеристика сырья для правильного понимания его обогащения, обжига, плавки и т. д. Обычно в геологических отчетах упоминается о 15—20 и редко о 33 минералах, в то время как в этих месторождениях имеется более сотни минералов; даже в мономинеральном месторождении имеется более десяти минералов. Так, по литературным данным, в Кунгурском месторождении гипса известно 12 минералов. Для Криворожского бассейна известно около 130 минералов, для Керченского железорудного — 83. Как уже выше было отмечено, Н. Г. Сумин для Высокой и Меднорудянска отмечает 121 минерал; Н. Т. Винниченко описала 70 минералов из Туранглы, М. Р. Еникеев на двух, расположенных рядом железорудных месторождениях, описал около 90 минералов и их разновидности.

Кроме того, Н. Т. Винниченко, М. Р. Еникеев выявили по несколько генераций у отдельных минералов.

Условия образования месторождений можно правильно понять только тогда, когда будет изучена геология и на ее фоне будут выявлены не только все минералы месторождения, т. е.

ассоциации, но и их разновидности и генерации, указывающие на последовательность выделения и изменения минералов.

Обычно при изучении месторождений анализируются средние пробы, производится их спектральный анализ. На основании этого нетрудно составить таблицы химических элементов, присутствующих на месторождении. Задача исследователя заключается в том, чтобы он нашел все минералы, элементы которых были обнаружены спектральным и химическим анализами. Минералог с большим полевым опытом сначала находит минералы, а затем составляет таблицы химических элементов, а неопытный минералог может это сделать так, как сказано выше. Историю атома в данном участке земной коры, т. е. в месторождении, нельзя понять, если не будут названы станции, в которых останавливался этот атом; поэтому необходимо детально изучать минералы.

Не касаясь полевого наблюдения, желательнее остановиться на некоторых методах лабораторного исследования минералов. Несмотря на то, что данные положения являются элементарными, их все же следует напомнить, так как среди геологов, работающих на периферии, имеются такие товарищи, которые несколько отошли от научно-исследовательской работы.

Прежде всего, необходимо изучить внешний облик минерала, на основании чего попытаться определить его на глаз и после приступить к предварительному исследованию.

К предварительным методам исследования следует отнести определения:

1) окраску минерала и его метакроматизм, 2) блеск, 3) спайность и излом, 4) твердость, 5) удельный вес или плотность, 6) качественное определение с паяльной трубкой (один из старых и удобных методов), 7) микрохимические и хроматические реакции, 8) люминесценцию.

Далее необходимо произвести детальное исследование минерала: 9) оптическое (показатели преломления и проч.). Прозрачные минералы исследуются в проходящем свете, непрозрачные — в отраженном, 10) кристаллографическое (измерение углов между гранями), 11) радиометрическое, 12) спектральное, 13) химическое; на основании предварительных данных и спектрального анализа, зная, что содержится в минерале, учитывая изоморфные ряды В. И. Вернадского, следует подвергнуть минерал полному химическому анализу и произвести вычисление формулы минерала, но прежде необходимо тщательно отобрать его при помощи лупы, бинокля, тяжелых жидкостей, центрифугирования, магнитного разделения.

После этого подвергнуть изучению: 14) термическому (кривые нагревания и обезвоживания), 15) рентгеновскому (порошковая дифракция), 16) электронномикроскопическому, 17) электроннографическому, 18) специальному исследованию, зависящему от требований предъявляемых к минералу: электропроводность,

магнитные свойства, сопротивление разрыву (для волокон), является ли минерал монокристаллом и т. п.

Все окрашенные минералы должны подвергаться испытанию их метахроматизма как в штуфах, так и в шлифах.

Все это возможно сделать тогда, когда позволяют размеры кристаллов минерала, в противном случае прибегают только к оптическому методу и микрохимическим реакциям. Желательно дисперсные минералы изучать при помощи электронного микроскопа.

Главным основанием для характеристики минерала является пространственная решетка, которую легче всего характеризовать межплоскостными расстояниями, полученными на основании изучения порошкограмм. Этому виду исследования необходимо уделить максимальное внимание при изучении минералов. Кроме обычных монокристаллов минералов в природе часто образуются смешанные и слоистые кристаллы, изучение которых возможно при применении оптического, термического и рентгеновского анализов.

Среди минералов имеется ряд категорий, которые трудно поддаются изучению — это дисперсные минералы, почв осадочных пород, включая ископаемые угли, поверхностные изменения рудных образований и т. п. Для изучения их желательно разработать новые методики, в особенности это относится к изучению углей. В этом вопросе нет единой точки зрения и некоторыми геологами внесена путаница; микроскопическое определение углей в отраженном и проходящем свете является совершенно недостаточным для выявления минералов в углях, которые сами по себе являются своеобразными породами.

Для более углубленного исследования минералов необходимо разрабатывать новые методы и применять новую аппаратуру.

3. Где искать? Не останавливаясь на всех приемах поискового дела, отметим лишь некоторые положения, заслуживающие внимания поисковиков.

Поиски месторождений полезных ископаемых производятся по характерным выходам их на дневную поверхность, по «шляпам», по изменению боковой породы и пр. В последнее время начинают обращать внимание на «слепые», не выходящие на поверхность, месторождения. Для этой цели, с одной стороны, прибегают к помощи структурной геологии, с другой — к изучению золы растений, произрастающих над рудными месторождениями, или к геофизическим методам. В то же время давно уже известно, что самым чувствительным методом поисков скрытых месторождений является изучение газов и подземных вод.

Газовая съемка применяется для выявления месторождений нефти и некоторых минералов. Вероятно она может быть применена для изучения скрытых залежей угля. Изучению скрытых залежей других полезных ископаемых может помочь характеристика подземных вод. Правда, в этом вопросе была внесена зна-

чительная путаница некоторыми гидрогеологами, которые стали утверждать, что существует безотносительная зональность химического состава воды. Становясь на другую позицию, можно говорить о том, что химический состав воды зависит, с одной стороны, от вмещающих пород, а с другой, от циркуляции в них газов, вступающих в реакцию с водным раствором и микроорганизмами. К сожалению, геохимики в последнее время совершенно не обращают внимания на характер воды. Получается такое впечатление, будто бы в формировании месторождений полезных ископаемых и в их дальнейшем изменении вода не принимает никакого участия, между тем, она играет очень большую роль не только в формировании самого месторождения, но и в его изменении. Автор считает, что пора вернуться к использованию химического состава воды для объяснения этих явлений. В изверженных породах подземные воды имеют слабую минерализацию и являются щелочными (первого класса). Следовательно, если выходящие на поверхность источник или вода, обнаруженные разведочной скважиной в изверженных породах, будут иметь иной характер, это укажет на метаморфизацию, связанную в большинстве случаев с изменением рудного месторождения.

Вода, вытекающая из известняков, должна иметь большую вторую щелочность, т. е. это будет бикарбонатная вода третьего класса; если же вода будет иметь иной характер, то, следовательно, она подверглась изменению от взаимодействия с рудным телом. Изучение характера подземной воды поможет нашим поисковым и разведочным организациям в выявлении «слепых» месторождений.

III. МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Необходимость более детального изучения минералов признается всеми. Эти исследования связаны с соответствующим оборудованием, которое для большинства провинциальных учреждений является пока недоступным, поэтому чрезвычайно важно наладить серийный выпуск соответствующей аппаратуры.

Для большой ответственной работы по геологии и минералогии нужны подготовленные кадры, на что требуется обратить серьезное внимание.

В связи с подготовкой новых кадров, специализирующихся по минералогии и геохимии, обязательен пересмотр учебных планов и программ. Прежде всего следует отметить, что из года в год в технических вузах идет сокращение часов, отведенных на изучение минералогии, что совершенно неправильно. Минералогия является не только ветвью геологических наук, но и одной из основ естествознания, она занимается изучением не только минералов земной коры, но и минералов, образованных в живых организмах и полученных искусственным путем. Исходя из этого положения, следует дифференцировать программу для разных

вузов и разных специальностей. Силикатчикам надо дополнительно дать минералы, образованные в керамических изделиях и в бетоне, металлургам — минералы шлаков; для почвоведов необходимо уделить внимание описанию минералов почв, а разведчики должны больше знать минералов, содержащих разные элементы. Существующая программа по минералогии составлена неудовлетворительно прежде всего потому, что описательная часть предшествует генетической, т. е. минералы рассматриваются в ней до того, как выяснены вопросы генезиса, парагенезиса и геохимии. Следовательно, минерал описывается только с точки зрения морфологии и химического состава, вырванный из природных условий генезиса, парагенезиса и дальнейшего изменения. Из программы видно, что раздел описательной минералогии основывается на иностранных классификациях, составленных по типу химического соединения, а русские классификации не упоминаются.

Программа по дополнительным главам минералогии составлена без учета дальнейшей работы специалистов. В связи с решением проблемы нижней Волги, Днепра и Главного Туркменского канала необходимо более детальное знание минералогии легко растворимых солей и осадочных пород.

Программу по дополнительным главам надо составить заново с учетом народнохозяйственных задач.

Программа по геохимии также составлена неудовлетворительно, так как в ней нет учета прикладного значения геохимии; необходимо ее пересмотреть. В учебниках геохимии В. В. Щербины и А. А. Саукова, так же как и в программах, отсутствует целый ряд разделов, без которых наука теряет очень многое; в них чрезвычайно мало уделено внимания геохимии отдельных элементов. Может ли молодой специалист-минералог или геохимик, закончив свое образование по данным программам, ответить на вопросы: какие химические элементы надо искать в том или ином минеральном сырье? Какое имеет значение тот или иной элемент с точки зрения геохимии и технологии в руде? Каков химический состав углей и их золы? Что считать вредными или полезными примесями в любой руде и т. п.? Не нужно думать, что эти вопросы следует рассматривать только в курсах полезных ископаемых. Понятно, что там их тоже нужно рассматривать, но минералогии и геохимию не следует отрывать от прикладных задач. Минеральное сырье правильно может быть понято только при совместных исследованиях разных специалистов: технологов, металлургов, химиков, геологов и, в первую очередь, минералогов и геохимиков.

В настоящее время в кандидатский минимум минералогов и геохимиков входит сдача двух экзаменов — физико-химические основы минералогии и процессы минералообразования. Мы считаем, что будущим специалистам по минералогии и геохимии следует предъявлять другие требования. В связи с выбранной темой

диссертации они должны сдавать по одному из разделов минералогии и геохимии; так, если диссертационной темой является минералогия или геохимия какого-либо пегматитового месторождения, то диссертант сдает экзамен по разделу описательной минералогии — минералогии пегматитов, а из раздела геохимия процессов — геохимию пегматитов и т. п.

В связи с необходимостью расширения кругозора следует продолжить работу библиографических отделов по минералогии и геохимии, пополнив ее сведениями из архивных и фондовых материалов.

Мы до сих пор еще очень мало уделяем внимания популяризации наших наук. После смерти акад. А. Е. Ферсмана мало кто из минералогов и геохимиков пишет популярные работы по минералогии и геохимии. В средней школе минералогия не преподается. Для того, чтобы увлечь молодежь и пробудить у нее любовь к минералогии, необходимы популярные очерки и популярные книги.

Для опубликования работ по минералогии и геохимии необходимо создание специального журнала с редакцией в Москве при Академии Наук СССР, в котором следует освещать задачи и достижения этих наук и приоритет советских ученых.

Кроме тех задач, о которых говорилось в данной работе, имеется еще очень много нерешенных научных вопросов и народнохозяйственных задач, которые невозможно осветить одному лицу. Эти задачи ставятся планирующими органами, соответствующими научными учреждениями и ведомствами и должны быть поставлены большим коллективом минералогов и геохимиков, каковым является Всесоюзный минералогический съезд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полное и всестороннее развитие минералогии и геохимии возможно только в том случае, если в них будут углубленно разрабатываться все разделы этих наук и если они не будут отрываться друг от друга. Кроме того, развитие их должно идти в тесном контакте, с одной стороны, с астрономией и геофизикой, физикой и химией, кристаллографией, петрографией и литологией, металлогенезом, геологией, почвоведением и биологией и, с другой стороны, с такими науками, как горное дело, разведка и обогащение полезных ископаемых, металлургия и химическая технология, строительное дело, водоснабжение, ирригация и мелиорация, агротехника и медицина.

При советской власти минералогия и геохимия получили полную и неограниченную возможность развиваться. В этом отношении достигнуты чрезвычайно большие успехи. Кроме теоретических работ, имеющих важное значение для развития этих наук, в Советском Союзе выявлено огромное количество разнообразного минерального сырья, обеспечившее планомерное развитие

промышленности, сельского хозяйства, транспорта и обороны нашей великой Родины. Несмотря на большую проделанную работу, нам необходимо ещё много сделать для дальнейшего развития народного хозяйства. Правильное направление школы В. И. Вернадского — изучать минеральное сырьё — нам следует продолжать и развивать, пользуясь методом диалектического материализма. Идя этим путем, наш большой коллектив минералогов и геохимиков преодолевает все трудности, стоящие на его пути по разрешению теоретических и практических задач.

Нам надо выявить историю нашей планеты, историю движения в ней атомов и концентрацию их в минералах; надо выявить это так, чтобы можно было энергию вещества использовать на благо нашей родины.

Не следует думать, что такая грандиозная работа должна выполняться только сотрудниками Института геологических Наук Академии Наук СССР или Институтом геохимии АН СССР; эту работу должен выполнить огромный коллектив минералогов и геохимиков всего Советского Союза, который непрерывно растет и пополняется новыми молодыми кадрами. Крупные научно-исследовательские организации, включая научно-исследовательские институты республиканских Академий Наук, высшие учебные заведения, производственные и ведомственные организации, находятся почти во всех крупных городах Советского Союза, они могут быть объединены под общим научным руководством Института геологических наук Академии Наук СССР.

Только огромному коллективу минералогов и геохимиков, которым располагает Советский Союз, и под силу проделать эту большую работу.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ*

В 1951 г. во Львове Е. К. Лазаренко (4) и одновременно в Ташкенте мной (12) были опубликованы работы о задачах минералогии и геохимии. Позднее, в 1953 г., Д. И. Щербаков (18) подвел итоги исследований московских и отчасти ленинградских ученых в своей статье «Состояние и некоторые задачи советской минералогии». В связи с этой статьей следует напомнить, что научная работа ведется не только в Москве и Ленинграде, но и в других научных центрах нашей страны, о чем не следует забывать.

Ввиду краткости упомянутых работ в них не получил полного отражения ряд принципиальных вопросов; некоторые из них излагаются в настоящем сообщении.

Как известно, геохимия выросла из минералогии, а минералогия принадлежит к числу самых старых наук. Как может разви-

* Опубликовано в «Изв. АН СССР», сер. геол., 1953, № 6, с. 40—49.

ваться это старое древо знания, самостоятельно или совместно с молодыми порослями,— с кристаллохимией и геохимией?

В конце прошлого столетия «Императорское Санкт-Петербургское минералогическое общество» возглавлял герцог Лейхтенбергский. В то время изощренному вкусу эстета удовлетворял чудесный кристалл минерала из рудного месторождения, который, кстати сказать, обычно выделялся в пустотах в последующее время в связи с дальнейшим преобразованием месторождения. Минералоги того времени собирали только такие образцы, которые имели хорошо кристаллизованные формы — «музейные образцы».

Эта традиция частично сохранилась и до сих пор; так, в ряде музеев выставляются только красивые образцы, поэтому до сих пор там нет всех открытых минералов.

Как можно было классифицировать такие минералы? Очевидно так, чтобы они не повторялись в разных классах. Такому требованию удовлетворяла классификация 1837 г. американского минералога прошлого столетия Дана (19), построенная по типу химического соединения. К первому классу этой классификации относятся все самородные элементы. Но что же общего между ними — самородной серой, золотом и азотом воздуха? Что общего вообще между химическими элементами? С одной стороны, общим является то, что все они построены по одному принципу, а с другой — все они различны и ничего общего между собой не имеют; однако ошибочно думать, что минералы, относящиеся к первому классу, представляют собственно данный химический элемент, так как самородное золото, например, состоит не только из золота, но и из серебра, железо содержит никель и кобальт и т. п. Следовательно, основной принцип чистоты элемента здесь не соблюден.

Следует привести еще один поразительный пример. Имеется класс окислов. В этом классе Дана выделил: 1) окислы кремния, 2) окислы полуметаллов, 3) окислы металлов; последний подкласс разделен на: а) безводные, б) водные. К «безводным» относятся: 1) протоксида R_2O и RO , 2) сесквиоксиды R_2O_3 , 3) промежуточные RR_2O_4 или $RO \cdot R_2O_3$, 4) диоксиды RO_2 .

К безводным простым окислам типа R_2O , оказывается, относится Water, т. е. вода. При формальном подходе даже вода становится безводной. Последующее переиздание Пэлочем, Берманом и Фронделем (22) этой классификации уже в настоящее время несколько изменило систематику минералов Дана, но далеко от нее не ушло — она все же остается формальной; ничего общего не имеющие между собой минералы связаны формальным признаком в один класс.

К сожалению, в настоящее время эта формальная классификация с некоторыми переделками положена в основу программы по минералогии для геологических и геологоразведочных факультетов наших высших учебных заведений.

Могут ли минералоги, воспитанные на «системе минералов» Дана, ответить на вопрос, какие же минералы следует искать в том или ином месторождении? Иначе говоря, способствует ли «система» Дана составлению прогнозов, доказывает ли она, где и какие следует искать минералы, а следовательно, и руды? Понятно, нет.

На эти вопросы могли ответить лишь сторонники другого генетического направления, поборником которого и был В. И. Вернадский.

Развивая генетическое направление, В. И. Вернадский стал говорить о химии земной коры и далее о геохимии. Его уже не удовлетворяла «Система минералогии» Дана и он начал ее переделять. К сожалению, его переделка распространилась только на внутриклассовое деление, и он не успел еще отказаться от основного принципа классифицировать минералы по типу химического соединения. Однако он уже ставил вопрос о том, чем надо заниматься — «системой минералогии» или историей минералов земной коры, и сам начал писать такую историю. Однако, увлекшись геохимическими идеями, В. И. Вернадский в противоположность морфологам, стал считать газы и жидкости минералами.

В силу этого обстоятельства возникло затруднение как в определении понятия «минерал», так и в определении объема самой науки — минералогии. В. И. Вернадский считал, что минералогия является химией земной коры, а следовательно, минерал представляет собой продукт химических реакций, протекавших естественным путем в земной коре. Таким образом, расширился круг вопросов минералогии и увеличилось число минералов. У В. И. Вернадского одних минералов воды было около 500, а если учесть разнообразные природные газы и жидкости, то жидких и газообразных минералов можно было насчитать более тысячи.

А. Г. Бетехтин и др. стали считать минерал физико-химической фазой и рассматривали его как конечный продукт химических реакций, протекавших в земной коре. Следовательно, минералы, образованные в живых организмах и в искусственных продуктах, уже минералами не считались. Затруднение было с янтарем. Почти все его считали минералом, однако, еще со времен М. В. Ломоносова было известно, что янтарь считается ископаемой смолой хвойных растений. В ирригационных сооружениях, сделанных из бетона, в связи с действием агрессивных вод вырастает гипс; что это — минерал или не минерал? На бронзовом памятнике появляется пленка малахита, такая же, как и на самородной меди.

Оказывается, в одних случаях гипс — не гипс и малахит — не малахит. Из этих примеров виден формальный подход некоторых минералогов: ведь и в том и в другом случае получается минерал. Таких примеров можно привести множество.

По-видимому, единственно правильным является вывод, что минерал характеризуется своей пространственной решеткой и представляет собой только твердое тело, а жидкости и газы — минеральные образования.

Твердые минералы образуются в результате концентрации вещества как в естественных, так и в искусственных условиях.

О минералах можно сказать, что они являются не конечными продуктами химических реакций, а станциями на пути движения химических элементов, сложными кристаллическими постройками, состоящими из окристаллизованных молекул, т. е. протокристаллов (7). Последние представляют собой реально существующие молекулы химических веществ, в которых атомы или ионы соединились в пространственные решетки.

Срастания протокристаллов образуют реальные кристаллы минералов.

Более точно можно дать такую формулировку понятия «минерал»: минерал является станцией на пути движения химических элементов; эта станция, будучи продуктом химических реакций, представляет такое твердое тело, в котором главная масса протокристаллов образует пространственную решетку, имеющую определенные межплоскостные расстояния; при современных методах исследования другие пространственные решетки, принадлежащие иным протокристаллам, не могут быть доказаны.

Следует пояснить, что простые химические соединения характеризуются однородностью главной массы протокристаллов, а твердые растворы и изоморфные смеси — разнородностью близких по своему строению протокристаллов, т. е. средним уравновешенным их химических и физических свойств.

Сложные и зонарные кристаллы минералов представляют собой такие постройки, в которых различные протокристаллы сгруппированы в слои или зоны. Коллоидные и аморфные минералы являются скрытокристаллическими телами.

Если это так, то можем ли мы эти станции, т. е. минералы, классифицировать по типу химического соединения с учетом их пространственной решетки? Какими же станциями на пути движения химических элементов в земной коре являются, скажем, самородные элементы? Все они являются станциями, но своего собственного элемента.

Рассматривая минералы с этих позиций, мы приходим к выводу, что они должны быть классифицированы по геохимическому признаку, т. е. по ведущему химическому элементу с выделением классов золота, железа, кремния и т. п., в которых объединяются по геохимической значимости минералы, содержащие эти элементы. Внутри же таких классов минералы располагаются по типу химических соединений, с учетом их пространственных решеток.

Рассматривая минералы как станции на пути движения химических элементов в земной коре, мы будем знать, где их надо искать и какие из них пропущены.

В настоящее время даже опытный минералог, развивая в себе чувство поисковика, при большой практике, в определенном районе может находить безошибочно минералы только определенного типа, причем свое умение он не может передать ученикам, так как не существует такой теории поисков минералов. В работе «Геохимические и минералогические методы поисков месторождений полезных ископаемых» А. Е. Ферсмана (16) и его сотрудников не дается такой теории поисков.

Каждый специалист сам по себе вырабатывает навыки в поисках минералов. Сплошь и рядом минералы открываются совершенно случайно при исследовании в лаборатории.

Руководя долгое время поисковыми работами, я давно пришел к выводу, что геохимическое направление в минералогии, развиваемое В. И. Вернадским и его учениками, является правильным, но оно нуждается в дальнейшем развитии. Это развитие заключается в новой геохимической классификации минералов, изложенной мной в учебном пособии по минералогии (8).

В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман еще до опубликования этого пособия дали положительный отзыв о нем, причем В. И. Вернадский писал, что нашу классификацию он считает научной. Однако эта работа как в части классификации, так и по стилю значительно отличалась от всех остальных, поэтому она подверглась резкой критике со стороны ленинградских и московских ученых. Ее критиковал также и А. Е. Ферсман. Главным недостатком работы критики считали классификацию минералов по ведущему химическому элементу.

Следует признать, что в моей работе действительно много недостатков и ошибок, над искоренением которых я и работаю с тех пор.

В результате исследований последних лет мной обнаружено, что химические элементы обладают избирательной способностью входить в единые пространственные кристаллические решетки минералов. Это явление привлекало к себе внимание и раньше, но оно не было достаточно выявлено, так как подбор минералов по химическим элементам казался мало привлекательным.

В опубликованных мною сообщениях (6—12) об этом явлении химические элементы, совместно входящие в пространственные решетки, названы параэлементами и для естественных минералов по каждому элементу составлены таблицы таких параэлементов. Получилась совершенно неожиданная картина. Ни энергетические показатели А. Е. Ферсмана — «эки и веки», ни его «параген» не объясняют не только количества параэлементов вообще, но и само явление, почему одни элементы могут быть параэлементами, а другие нет. Видимо, причина этого явления заключается не только в электронных оболочках атомов, но и в их ядре.

Для примера приведем параэлементы сурьмы (таблица).

Детально не разбирая таблицы, все же следует отметить, что совместное присутствие бериллия с сурьмой указывает на тот факт, что он должен встречаться не только в пегматитах, но и в гидротермальных жилах, и в шляпах рудных месторождений. С другой стороны, если палладий иногда входит в пространственную решетку минерала с сурьмой, то он может быть приурочен к кислым породам, а сурьма — к основным, или же здесь происходит процесс наложения эпитермального раствора на комплекс

Таблица

Параэлементы сурьмы (всего 37)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
+H							
Li	Be+	B	C	N	O+	F+	
+Na	+Mg	+Al	+Si	P	+S	+Cl	
K	Ca+	Sc	Ti+	V	Cr	Mn+	Fe+Co+Ni+
+Cu	+Zn	Ga	+Ge	+As	+Se	Br	
Rb	Sr	Y+	Zr	Nb+	Mo+	Tc	Ru, Rh, Pd+
+Ag	Cd	+In	+Sn	+Sb	+Te	J	
Cs	Ba	TR	Hf	Ta+	W+	Re	Os, Ir, Pt
+Au	+Hg	+Tl	+Pb	+Bi	Po	At	
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U		
		Ce...					

Примечание. (+)—параэлементы. Все редкие земли, кроме церия, приняты за одно целое.

основных пород. Возникает предположение, что и другие легкие платиновые элементы — рутений и родий — могут иметь связь с сурьмой.

Таким образом, учение о параэлементах приводит нас к выводу о соответствии нахождения химических элементов не только в пространственных решетках минералов, но и в определенных геологических условиях.

Ниже мы приводим количество параэлементов естественных минералов. Эти данные являются предварительными потому, что их исчерпывающая обработка одному лицу не под силу. Этот труд должен быть коллективным, поэтому автор настоящей статьи надеется, что в дальнейшем его работа будет дополнена и исправлена другими минералогами и геохимиками.

Количество параэлементов естественных минералов, по нашим данным (цифра обозначает количество параэлементов):

От 50 и выше:

Fe — 60, O — 55, H — 52, S — 52

От 50 до 40:

Cu — 49, Si — 46, Ca — 45, Pb — 45, Al — 44, Na — 44, Mn — 42,
Mg — 40, As — 40, F — 40.

От 40 до 30:

K — 38, B — 38, Sb — 37, Ti — 35, Zn — 34, Y — 34, C — 34,
P — 34, Ba — 32, Ge — 31, V — 31, Cl — 31, U — 30.

От 30 до 20:

Nb — 29, Zr — 28, Sn — 28, Bi — 28, Sr — 27, Th — 27, Ta — 27,
Cr — 27, Co — 25, Ni — 25, Ag — 25, N — 22, Mo — 22, Te — 21,
W — 20, Se — 20.

От 20 до 10:

Li — 18, Au — 16, Hg — 16, Sc — 15, Pt — 14, Cs — 14, Rb — 12,
Ge — 11, J — 11, Pd — 10.

От 10 до 1:

Tl — 9, Ir — 9, Br — 8, Ru — 8, Rh — 8, Os — 8, Ra — 7, In — 4,
Ga — 7, Cd — 6, Re — 3.

Следует иметь в виду при этом, что параэлементами мы считаем только такие элементы, которые открыты химическими анализами в минералах в количестве не менее чем 0,85%, что является условным.

В качестве примера укажем, что Брей (1) приводит анализ кварца, содержащего (%) 0,061 BaO, 0,770 — Al_2O_3 и 0,05 — TiO_2 ; понятно, что ни барий, ни алюминий, ни титан в пространственную решетку кварца не входят.

Если в каждом случае будет показано, что элемент, открытый в количестве менее 0,85%, не принадлежит к примеси или не связан с ошибкой анализа, то его следует принимать во внимание и считать параэлементом.

Элементы, открытые спектральным анализом или находящиеся в количестве менее 0,85%, рассматриваются мной как рассеянные, за исключением радия, галлия, индия, гафния и рения.

Для пояснения параэлементов приведем схему геохимического распределения химических элементов.

Рассеянные элементы противопоставляются параэлементам, следовательно, минералы являются продуктами концентрации вещества; в свою очередь концентрация минералов образует месторождения полезных ископаемых. Таким образом, при создании теории образования рудных месторождений нельзя обойтись без минералогии геохимического направления. Об этом в свое время писал и А. Е. Ферсман (5).

Из работ А. Е. Ферсмана следует сделать вывод, что минералогия должна развиваться на базе геохимии, но обе эти науки не должны отрывать от геологии. Основная цель и задача этих наук — изучение полезных ископаемых, т. е. вещества зем-

ной коры. Из этого не следует делать вывод, что только в поле можно заниматься изучением месторождений полезных ископаемых. Кроме полевой работы, минералогии и геохимии должны проводить лабораторные и теоретические исследования.

Рассмотрим с позиций А. Е. Ферсмана некоторые работы, прежде всего «Геохимию» (5) — работу его ближайшего ученика А. А. Саукова. Эта книга за короткий срок выдержала два издания (1950—1951), допущена Министерством высшего образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных

Схема распределения химических элементов в земной коре, по А. С. Уклонскому

Фазы	Твердая			Жидкая и газовая	
Состояние вещества	Определенные соединения	Изоморфные смеси и твердые растворы	Неопределенные соединения	Молекулы, ионы и атомы	
	Параэлементы	Рассеянные элементы		Некоторые элементы концентрированные, а другие рассеянные	
Нахождение	В известных минералах (кристаллических и скрытокристаллических)	В почвах, горных породах и рудах в еще неопределенных минералах	В коллоидах, гелях и золях	В воде и других жидкостях	В воздухе и других газах
Практическое значение	Извлекаемые, возможные и предельные				

заведений по геологической специальности. На ее базе составлена программа для студентов университетов.

В. И. Вернадский говорил, что минералогия является наукой, изучающей историю минералов земной коры, а геохимия — историю атомов земной коры. Можно ли изучать историю атома, т. е. геохимию земной коры, без минералов? По-видимому нет, геохимия без минералов немислима.

В течение геологической истории Земли атомы химических элементов мигрируют, соединяются друг с другом, некоторые из них вновь рождаются, а некоторые исчезают. Их сложная история зафиксирована в станциях — минералах, в которых химические элементы задерживаются иногда на короткий срок, а иногда на долгие геологические периоды.

Станции — это твердые тела, минералы, а пройденный путь химических элементов заключен в жидкой или газовой фазах; все эти процессы происходят в определенной геологической обстановке.

Станции, т. е. минералы, в определенных геологических условиях накапливаются в месторождении полезных ископаемых. Одни элементы сопровождаются другими, причем некоторые из них могут оказаться вредными примесями, а другие полезными. Сами химические элементы могут образоваться разным путем, т. е. они имеют разный изотопный состав.

Отвечает ли «Геохимия» А. А. Саукова на поставленные вопросы? Конечно, нет. Главная часть книги посвящена не геохимии, а физике и кристаллохимии, а эти науки должны отвечать на вопрос, из чего состоит атом, какова энергия кристаллической решетки, какие бывают типы пространственных решеток. Все это полезные сведения, но не в этом суть дела.

Геохимия не может ограничиться описанием трех-четырёх элементов, но и при описании этих элементов — кислорода, железа и ртути — необходимо выявить их историю и привести те станции, в которых останавливаются эти элементы.

Для кислорода А. А. Сауков вовсе не приводит минералов, но отмечает, что существует около 1200 минералов, содержащих кислород; для железа дается только 18 минералов, а между тем железо имеет максимальное число параэлементов — 60; для ртути упомянуто 9 минералов. Всего в книге А. А. Саукова приведено 192 минерала и их разновидностей. Напомним, что В. А. Обручев в своих «Рудных месторождениях» привел более 300 минералов, не считая разновидностей; это должно служить примером для других.

Непонятно, почему А. А. Сауков не использовал данные по геохимии отдельных элементов, которые приведены у наших классиков.

Как известно, в «Геохимии», IV т., А. Е. Ферсмана (17) приведена геохимия почти всех химических элементов, а в «Очерках геохимии» В. И. Вернадского (2) написана история марганца, кремния, углерода и радиоактивных элементов.

В 1949 г. в Чикаго вышла в свет «Геохимия» Ранкама и Сахама (23). Эта книга имеет очень много недостатков и главный из них — отсутствие связи между геохимией и полезными ископаемыми. Однако следует отметить и положительную сторону этой книги — здесь собрано много разных сведений об элементах и дана, правда односторонняя, но все же геохимия почти всех элементов. В книге имеется ряд ошибок и неточностей. Так, в главе о сере авторы ошибочно приписывают Альфельду (1934) гипотезу образования самородной серы в связи с нефтью. Эта гипотеза заимствована им у автора настоящей статьи, который впервые докладывал об этом на III Всесоюзном съезде геологов в Ташкенте в 1928 г. (13) и позже на других съездах.

Так как Ранкама и Сахама не владеют диалектическим методом, то в их работе не дано той связи явлений, какую следовало ожидать от геохимии; их первая, обзорная, часть не связана со второй, описательной, где дается история отдельных элементов. Казалось бы, что А. А. Сауков должен был учесть во втором своем издании опыт Ранкама и Сахама и дать нам такую геохимию, которая открыла бы новые горизонты, но это не было сделано. Целый ряд вопросов А. А. Сауковым не разобран, в частности, вопросы радиогеологии, возможны ли ядерные взрывы внутри Земли и связана ли с ними магматическая деятельность, горообразование и многое другое. Работа А. А. Саукова нуждается в коренной переработке и не может быть положена в основу программы по геохимии для университетов.

Положительным примером работы в области минералогии является труд И. И. Гинзбурга и И. А. Рукавишниковой «Минералы древней коры выветривания Урала» (3), который для ташкентских минералогов является настольной книгой.

В работе описывается и упоминается 277 минералов. Однако книга выиграла бы больше, а авторы выявили бы больше минералов, если бы они исходили из геохимической основы и отказались от формальной классификации минералов по типу химических соединений. В главе второй описывается брусит, т. е. гидрат окиси магния, а в десятой — связанные с этим бруситом основные карбонаты магния, т. е. соединения того же гидрата окиси магния с карбонатом магния. В главе шестой описаны окислы и гидроокислы никеля, в девятой — айдырлит — алюминат никеля, в десятой — заратит — карбонат никеля, в одиннадцатой — моренозит, т. е. сульфат никеля, в четырнадцатой — гидросиликаты никеля, в пятнадцатой — никелевые хлориты, в шестнадцатой — никелевые вермикулиты и т. д. Распыление магниевых, никелевых и других минералов по разным главам не создает геохимической картины жизни этих элементов в коре выветривания и не дает руководящей нити в понимании этой работы.

Рассмотрим с этих же позиций некоторые работы, вышедшие за рубежом.

К. Пэлоч, в известной своей монографии о минералах Франклина и Стерлинг Хилла в Нью-Джерси, (США) (21), пишет, что эти месторождения были известны с 1640 г., а изучаются с 1810 г., что он сам работал там с перерывами 25 лет и описал из этих месторождений более 140 минералов. Из этого числа были совершенно новыми 30 минералов. Минералы описаны по классификации Дана и приведены в алфавитном списке и в списках по генетическому типу.

Следует отметить, что в этой работе не были применены ни рентгеновский, ни термический анализы.

Если мы расположим эти минералы по нашей геохимической классификации, то увидим, что целый ряд станций на пути движения химических элементов в земной коре, т. е. минералов,

здесь отсутствует. Эти месторождения имеют свои особенности, но вряд ли они таковы, что не подчиняются законам геохимии. Более вероятно, что Пэлоч и другие, не зная о существовании параэлементов и не представляя себе того, что минерал является станцией на пути движения химических элементов, пропустили целый ряд не только минералов, но и элементов.

Группа крупнейших европейских минералогов во главе с П. Ниггли написали большую монографию о минералогии Швейцарских Альп (20) в 1940 г. Всего описано более 220 минералов.

Материал изложен по системе Дана, имеются главы по геохимии. В этой работе, как и в предыдущей, приведен целый ряд очень интересных минералов, в частности, редко встречающихся сульфосолей.

Несмотря на то, что в качестве авторов здесь выступают европейские ученые с известными именами, все же целый ряд минералов в монографии пропущен и об описанных месторождениях авторы, по-видимому, не имели четкого представления.

Если швейцарские минералы мы рассмотрим по нашей **систематике и учетом параэлементы**, связанные с этими минералами, то станут очевидны пропуски в минералах.

Из всего сказанного видно, что для практической работы «Система минералогии» Дана никакой пользы не приносит. В свое время введение в науку этой «системы» имело прогрессивное значение, но она отжила свой век и нуждается в коренной переработке. Эту «систему», где все расположено как бы по полочкам, на своих местах, следует сделать не самостоятельной, а подчиненной. Если мы расположим все минералы по ведущему химическому элементу — натрию, калию, железу, сере, хлору и т. п., а внутри каждого такого класса — по типу химического соединения, т. е. по «системе» Дана, от самородных элементов до органических минералов, то сразу будет видна вся картина истории минералов земной коры, которую хотел видеть В. И. Вернадский. Получается нечто похожее на периодическую таблицу Д. И. Менделеева. Применяя этот метод, можно не только предсказывать открытие новых минералов, но и корректировать константы уже описанных минералов, как это делал Д. И. Менделеев со своей периодической системой химических элементов.

Ряд зарубежных и наших минералогов, и в особенности специалистов по изучению рудных месторождений, уже отказались от «системы» Дана и стали описывать минералы по генетическому признаку или по их значимости на данном месторождении. Можем ли мы на основании такого подхода к минералам сказать, какой минерал следует искать на месторождении и какой минерал и химический элемент пропущен? Что нам говорят такие понятия, как «главные минералы», «второстепенные» или «основные» и «удаленные», «минералы изверженных пород», «жильные», «вторичные» или «минералы первой генерации», «второй», «супергенные», «гипогенные» и т. п.? Такой практический подход,

казалось, должен был помочь разобраться в сложной истории формирования месторождения, но на самом деле он только его запутывает, так как не дает никакой руководящей нити. Минералог при таком подходе не знает, что ему искать и где искать. Пропустил ли он минералы и элементы или нет? Что ему в данном случае может помочь? Личный опыт, навык, хороший глаз и упорный труд. Все это следует ценить, но в помощь труженику надо дать руководящую идею.

Если наши минералоги, геохимики и геологи — разведчики недр — попробуют применить нашу систему на изучаемом ими месторождении, то они увидят пользу этого дела. Только следует помнить, что и химик не пишет подряд все элементы, а располагает их в соответствующих местах таблицы Д. И. Менделеева.

Следовательно, и минералог, начиная от минералов кислорода и водорода и кончая радиоактивными (14), пишет все подзаголовки нашей классификации минералов с указанием не только обнаруженных им минералов, но и с отметкой об их отсутствии, а внутри каждого класса отмечаются не только найденные, скажем, сульфаты, карбонаты, но и ненайденные минералы, допустим, фосфаты или иные.

Тогда, учитывая соответствующие параэлементы и геологическую обстановку изучаемого месторождения, исследователь начнет дополнительно искать минералы этих элементов или же он решит, что их здесь не следует искать.

Если мы расположим минералы из любого месторождения по ведущему химическому элементу и учтем их параэлементы, то перед нами откроется перспектива нахождения новых минералов и неизвестных еще химических элементов в этом же месторождении. Все это будет не случайным, а обусловленным закономерной связью.

На основании данных высказываний не следует думать, что минералоги, воспитанные на системе минералогии Дана, никакой пользы не приносят производству и развитию науки вообще.

Автор далек от этой мысли. Он считает, что русские минералоги раньше, а теперь советские, приносят и принесли огромную пользу нашему народному хозяйству и развитию науки вообще. Заслуги их очень велики, и среди них имеются выдающиеся ученые, такие как Е. С. Федоров, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман и др. Только развивая их учение — геохимическое направление в минералогии — автор и смог придти к данным положениям.

В своей статье «Задачи минералогии и геохимии» (6) автор уже изложил основные проблемы и отметил необходимость их тесного контакта. Из приведенных примеров видна эта необходимость. Мы скажем, что основной задачей минералогии и геохимии является изучение месторождений полезных ископаемых, но это изучение должно быть целеустремленным.

Автор рекомендует найти не менее ста минералов в разрабатываемом или разведываемом месторождении. Это рекомендуется

потому, что иногда находка какого-либо нового минерала, содержащего интересный элемент, заставляет заново пересмотреть условия образования данного месторождения.

Большое количество минералов не является самоцелью, но необходимо помнить, что на месторождениях имеется не 10, а больше сотни минералов.

При изучении месторождения сначала делаются массовые спектральные анализы средних проб, а затем разыскиваются минералы обнаруженных элементов. Таблица параэлементов вносит соответствующие коррективы в поиски. Понятно, и при этих условиях пропускаются минералы, но в значительно меньшей степени, чем при поисках на глаз, без всякой целеустремленности.

Для проведения таких работ необходимо иметь сводки минералов по ведущему химическому элементу. К сожалению, их до сих пор нет, так же как и нет полных определителей минералов. Необходим и полный минералогический словарь. Составление такого словаря, сводок и определителей лежит на обязанности коллектива минералогов библиографического отдела Института геологических наук АН СССР и Минералогического музея АН СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брей Д. М. Распределение второстепенных элементов в изверженных породах района Джемстоун Колорадо. В сб. «Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах». 1952.
2. Вернадский В. И. Очерки геохимии. Объед. научн.-техн. изд., 1934.
3. Гинзбург И. И., Руквишанкова И. Л. Минералы древней коры выветривания Урала. 1951.
4. Лазаренко Е. К. К вопросу о современных задачах советской минералогии. Сб. № 5, Гос. изд-во тех. лит-ры, 1951.
5. Сауков А. А. Геохимия, Госгеолиздат, 1951.
6. Уклонский А. С. Классификация естественных минералов кремния. Юбилейный сб. посв. 25-летию УзССР. Ташкент, 1950.
7. Уклонский А. С. Задачи минералогии и геохимии. Зап. Узб. Отд. Всес. мин. об-ва, вып. 2, Ташкент, 1951.
8. Уклонский А. С. Минералогия. Объед. научн.-техн. изд-в, 1940.
9. Уклонский А. С. Парагенезис минералов и параэлементы. ДАН УзССР, 1952, № 3.
10. Уклонский А. С. Об изоморфных рядах В. И. Вернадского и параэлементах. ДАН УзССР, 1952, № 7.
11. Уклонский А. С. Изоморфные ряды В. И. Вернадского и параэлементы. ДАН УзССР, 1952, № 12.
12. Уклонский А. С. Параэлементы галогенидов естественных минералов. Тр. Ср.-Аз. гос. ун-та, вып. 30, 1952.
13. Уклонский А. С. Месторождение Шор-су. III. Всес. съезд. геол., Ташкент, Изд. Ср.-Аз. геол. ком., 1928.
14. Уклонский А. С. Геохимическая классификация минералов земной коры. ДАН УзССР, 1948, № 8.
15. Ферсман А. Е. Задачи минералогии в нашей стране. ЗВМО, вып. 1, 1945.
16. Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. М., 1940.

17. Ферсман А. Е. Геохимия, т. IV, М., 1939.
18. Щербakov Д. И. Состояние и некоторые задачи советской минералогии. «Изв. АН СССР», сер. геол., 1953, № 2.
19. Dana D. The System of mineralogy. New York — London, 1920.
20. Niggli P., Koenigsberger J. U. and Die Mineralien der Schweizalpen. Basel, 1940.
21. Palache C. The minerals of Franklin and Sterling Hill Sussex Country, N. Jersey. Geol. Surv. Prof. Pap. 118, Washington, 1935.
22. Palache C., Berman H., Frondel C. The mineralogy of Dana and E. Dana. Yale University, 1837—1892. New York — London, 1946.
23. Rankama K. a. Saha m a T. Geochemistry. Chicago, 1949.

О СИНГЕНЕЗИСЕ И ЭПИГЕНЕЗИСЕ МИНЕРАЛОВ*

Прежде чем говорить на эту тему, необходимо напомнить о некоторых наших высказываниях на общие темы. Так, в одной из наших статей «Геохимическая характеристика устойчивых изотопов», напечатанной в малораспространенном издании (Труды СазПИ), мы разделили все устойчивые изотопы по их количеству на 10 семейств. К первому семейству отнесены моноизотопы, или одиночки: бериллий, фтор, натрий, алюминий, фосфор, скандий, марганец, кобальт, мышьяк, иттрий, ниобий, родий, йод, цезий, празеодимий, тербий, прометий, тантал, золото, висмут, полоний, радий, актиний, торий, протактиний. Почти все они, за исключением кобальта и родия, относятся к сиалическим элементам.

К диизотопам, также относящимся к сиалю, относятся 19 элементов: водород, литий, бор, углерод, азот, хлор, ванадий, медь, галлий, бром, рубидий, индий, сурьма, лантан, европий, лютеций, рений, иридий и таллий.

Не останавливаясь на рассмотрении остальных рядов, замечаем, что сиаль и сима отличаются друг от друга по характеру изотопов; это явление не случайное, а имеет глубокие корни. Автор допускает мысль, что сима образовалась раньше сиалья. Следовательно, единой базальтовой магмы — производительницы всех пород — не существовало. Сима образовалась в ранний период существования Земли как космического тела. Сиаль — последующее образование. В результате ядерных реакций, сопровождающихся взрывами, происходило нагревание Земли с образованием гранитной магмы из сиалья и перидотитовой — из симы. В дальнейшем эти протоматмы многократно смешивались с образованием сложного комплекса горных пород. Последнее уже усложнялось тем, что магмы переплавляли горные породы, ассимилируя их. В результате этого не пассивная магма выдавливалась активными горными породами, а ядерные взрывы, образуявая магму, производили тектоническую работу, создавая горные хребты и морские пучины. Следовательно, тектонические циклы соответствуют накоплению предельного количества урана, тория, трансуранидов

* Опубликовано в сб. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. XIII, 1959, с. 5—13.

и других элементов для проявления ядерных реакций. Кроме собственно тектонических циклов, существует еще непрерывное поднятие и опускание отдельных блоков земной коры, способствующее перемещению вещества.

На геологических совещаниях, проходивших в Ташкенте, мною делались сообщения и высказывания по вопросам генезиса минералов в связи с геохимией воды. Общий смысл этих высказываний заключался в том, что в природе происходит непрерывное перемещение вещества как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. На одном из таких совещаний, в присутствии А. Е. Ферсмана, некоторые геологи упрекнули меня во внесении анархии в порядок, установленный петрографами и литологами.

В чем же заключается порядок и в чем анархия?

Порядок заключается в том, что изверженные и осадочные породы, образовавшиеся много миллионов лет тому назад, сохранились в том же неизменном виде, в каком они в свое время образовались. Следовательно, — макро- и микроэлементы, присутствующие в настоящее время в изверженных породах, говорят о том, что исходная магма содержала их в тех же количествах. Таким образом, устанавливается генетическая связь изверженных пород и оруденения.

Некоторые литологи, изучая пористость осадочных пород, предполагают, что в меловых известняках за 65—120 млн. лет не произошло существенных изменений и пористость сохранилась в первоначальном виде, что все минералы сингенетичны, в том числе и самородная сера, которая за этот большой промежуток времени не успела окислиться. Микробиологи даже утверждают, что серобактерии, в связи с нефтью, благополучно прожили многие миллионы лет под землей и сохранились до наших дней.

Все эти положения базируются на представлениях о малой подвижности земной коры, что явно противоречит основным законам диалектики, которым подчиняется и геология.

Известно, что отдельные блоки земной коры то опускаются, то поднимаются. Амплитуда этих колебаний выражается во многих километрах. Если примем 33° на каждый километр за геотермический градиент, то при опускании на 3 км температура повысится до 100° . Нам известно, что опускание происходит до глубины 7 км, где температура достигает более 200° . Неужели же в этих условиях выживут серобактерии и сохранится нефть в материнских породах?

Необходимо добавить, что за многомиллионную историю Земли блоки земной коры, многократно опускаясь и поднимаясь, то смачивались водой, то высыхали; в них одни минералы растворялись, а другие образовывались, при этом вещества перемещались и изменялись.

Часть моих оппонентов объясняет перемещение вещества связью только с корой выветривания. Эти высказывания основаны на неправильном положении, что только в коре выветривания идут

интенсивные реакции разложения первичных минералов. Если какой-то блок земной коры опустится только на 2 км, то температура в нем повысится до 60° и более. При этой температуре вода за длительный срок превратит безводные силикаты магния в змеевикси. В простых полиметаллических рудах возникнут сложные сульфосоли, содержащие мышьяк в другой валентности, нежели в арсенипирите. В этих условиях, вероятно, образуется интересная группа минералов — крокоита, пироморфита, ванадинита и вульфенита в кварцевых жилах, сопровождающих золото.

На поверхности Земли нет ни одной точки, которая не заливалась бы в свое время морем. Следовательно, морская вода пропитывала все породы, оставляя в них соли, которые в дальнейшем метаморфизовались и способствовали метаморфизации вмещающих пород.

Кроме горячих магматических растворов, поднимающихся с больших глубин, имеются и горячие растворы — псевдогермы поверхностного генезиса. Существуют и конденсаты паров воды первого и второго генезисов, представляющих собой слабоминерализованные воды.

Все это создает сложную природную геохимическую лабораторию, упрощать которую не следует ни геологам, ни геохимикам. Между тем, в английском геохимическом журнале «*Geochimica et Cosmochimica*» и в нашем журнале «Геохимия» помещаются статьи некоторых авторов с сообщением о нахождении в горных породах некоторых элементов в пятом и шестом знаках. Понятно, авторы не могут доказать сингенетичность или эпигенетичность их по отношению к вмещающим породам. Поэтому из этих работ могут быть сделаны разные выводы, в зависимости от воззрений авторов.

Исследуя геохимию хлора, А. Бене показал, что многие кварцы содержат хлор. Отсюда следует, что гидротермальные растворы хлоридные, из них выпадает жильный кварц, что тяжелые металлы, в том числе и серебро, переносятся в постмагматических растворах в виде хлористых солей.

Все эти рассуждения связаны с общим положением о сингенетичности явлений, вносящих кажущийся порядок.

Для того, чтобы понять неправильность основных положений о сингенезисе, приведем несколько примеров.

Недавно в Ташкенте на глубине около 2 км обнаружена горячая суммарно минерализованная вода (плотный остаток менее 1 г/л). Ее суммарный изотопный состав около 3у, что заставляет отнести ее к снеговым водам. Сопоставление этой воды с водой р. Чирчик показывает значительную внешнюю разницу, за исключением суммарного изотопного состава. Если же чирчикскую воду долго нагревать до 66°, то из нее выпадут карбонаты кальция и магния, иначе говоря, у воды исчезнет или очень сократится вторая щелочность. Вода трансформируется из слабощелочной бикарбонатной в соляно-щелочную. Такая вода на глубине 2 км пропитывает

известняки, закупоривая в них поры, отлагая кальцит, доломит и, может быть, даже магнезит. Последний в этих условиях будет неустойчив и перейдет во вторичный доломит. Измеренные литологами поры не будут соответствовать их первоначальным размерам. Это относится не только к известнякам, но и к изверженным, жильным и метаморфическим породам. В меловых и иных известняках, так же как и в других породах, поры многократно закрывались и вновь образовывались за счет растворяющего действия углекислоты, выделяющейся из бикарбонатов при образовании карбонатов.

Переходим к рассмотрению проблемы серобактерий. Развивающиеся в водоемах бактерии захороняются в илах. Влажные илы сохраняют бактерии живыми, на них отлагаются другие осадки. Все это создает обстановку для сохранения жизни под землей, которая может продолжаться неограниченное количество миллионов лет. Опускание блоков с этими илами на глубину более 3 км заставит оборвать жизнь под землей.

При каждом бурении скважин на нефть с применением глинистых растворов или воды не первой свежести бактерии снова заносятся в подземные пласты. Иначе говоря, они эпигенетичны по отношению к пластовым водам.

Самородная сера, которая образовалась в юрское или меловое время, за много миллионов лет окисляется. Образовавшиеся сульфаты при опускании на большие глубины превращаются в сернистые соединения; при этом получается впечатление о гидротермальной деятельности.

Существующие серные месторождения молодые и эпигенетичные по отношению к вмещающим породам. На основании многолетних изучений месторождений самородной серы и геохимии воды автор пришел к выводу, что сингенетическая теория не подтверждается на практике, а эпигенетическая полностью оправдывается. Сущность разработанной автором гипотезы заключается в следующем. Нефть и нефтяные газы мигрируют в верхние горизонты, они действуют на сульфатный ион воды с выделением сероводорода и углекислоты. Сероводород, в свою очередь, в окислительной среде может выделить самородную серу. Последняя на своих выходах окисляется до серной кислоты с образованием новых сульфатов — квасцов и купоросов.

Таким образом, сера является шляпой нефтяного месторождения, а квасцы — серного. Сопровождающие нефть воды на контакте с пластовыми и трещинными водами выделяют эпигенетические минералы, весьма характерные для этого процесса, например, халцедоновые желваки, бентониты, целестин, самородную медь и многие другие, составляющие парагенезис серы и нефти. Наша гипотеза подтверждена практикой.

Так, недавно в Бухарской депрессии обнаружено крупнейшее газовое месторождение Газли, которое ранее называлось Гажды (указанное в моем «Парагенезисе серы и нефти» за № 263).

Что станет с нефтью и нефтяными газами, если материнские породы опустятся на большие глубины? Они будут мигрировать вверх и отчасти в стороны. Вертикальная миграция газа и нефти — вполне закономерное явление. Однако не всегда это возможно. Могли создаться такие условия, когда нефтяная залежь была перекрыта пластическими породами, не пропускающими ни нефть, ни газ. В этом случае могла появиться возможность коксования с образованием графита и ографиченных пород, содержащих ванадий в виде патронита, уран и другие элементы, или же мог произойти взрыв с образованием грязевого вулкана.

При миграции нефть могла попасть в разные породы, в том числе и в изверженные, залегая в них эпигенетично. При опускании блоков таких пород произойдет их ографичивание. Вероятно, так образовались Тас-Казганское и другие месторождения графита. Следовательно, графитовое месторождение, находясь в палеозойских породах, могло образоваться в третичное или четвертичное время в результате миграции нефти и опускания блока на большие глубины. Понятно, это относится не ко всем графитовым месторождениям, так как многие из них образовались за счет метаморфизации углей или битуминозных сланцев.

Если мы будем рассматривать изверженные горные породы, то общее впечатление о них получается как о чем-то незыблемом и вечном. В начале этого столетия считали, что они составляют первичную кору Земли. На Международном геологическом конгрессе в Москве в 1937 г. проходила дискуссия по вопросу о первичности и вторичности гранитов. В. И. Вернадский задолго до конгресса высказал идею о том, что граниты представляют собой бывшую биосферу. О вторичности их происхождения высказывались Ог и многие другие крупные геологи. Так возникла идея о гранитизации, которая шла вразрез с мнением о генетической связи оруденения с интрузивами гранитного типа. В данной статье мы не будем рассматривать этот вопрос, так же как вопрос о пульсации рудного постмагматического раствора, а остановим внимание читателей на перемещении вещества. Некоторые петрографы утверждают, что гранитная магна медленно остывала и кристаллизация гранита происходила в течение миллионов лет. Известно, что при медленном спаде температуры из пересыщенных растворов выпадают крупные кристаллы. Если допустить правильность этого положения, то граниты должны быть представлены гигантскими кристаллами полевого шпата, кварца и слюды, что имеет место в некоторых пегматитах. Сами же граниты мелкозернистые, следовательно, их кристаллизация происходила быстро, что можно объяснить разными причинами. Автор полагает, что температура магмы была не очень высокой, что расплав своим существованием обязан не высоким температурам, а плавням. При удалении плавней из магмы образуются, с одной стороны, гидротермальные растворы, а с другой — изверженные породы. В дальнейшем происходит многократная кристаллизация горных пород при участии

всякого типа подземных вод, включая и морские. Последние воды оставляют свой хлор разным минералам, в том числе и кварцу. Сам же хлор не входит в пространственные решетки этих минералов, а запаковываются между их протокристаллами. Вот такой хлор и открыл А. Бене. Вероятно, многие химические элементы, открываемые геохимиками, относятся к эпигенетическим, а рассматриваются как сингенетические. Если мы учтем данные высказывания, то станут ясными некоторые странности в определении абсолютного возраста, когда жильные минералы оказываются старше вмещающих пород. Присутствие хлора в минералах говорит о его эпигенетическом характере и о перекристаллизации минералов, а не о том, что гидротермальные растворы были хлоридными. Исходя из этого положения, можно говорить о перемещенных минералах и, следовательно, о перемещенных элементах. При правильном понимании перемещения вещества можно выделить и руководящие минералы, аналогичные руководящим ископаемым. Мы рассматриваем минерал как станцию на пути движения химических элементов в земной коре. В этих станциях запечатлевается путь миграции вещества.

Геологи изучают парагенезисы минералов в рудных месторождениях, соответствующих этапам рудообразования. Так получилось представление о пульсации постмагматических растворов, идущих снизу вверх. Рассмотрим некоторые примеры парагенезисов рудных месторождений с наших позиций. Т. И. Новикова выделяет в одном из них следующие парагенетические ряды.

I. Минералы вмещающих пород

кварц	корунд
полевые шпаты	пирит
плагноклазы	апатит
мусковит	турмалин
серицит	кальцит
биотит	доломит
хлорит	халькопирит
эпидот	циркон
цоизит	ксенотим
талк	рутил
топаз	сфен

II. Минералы окварцованных микробрекчий

кварц	доломит
серицит	арсенопирит
пирит	гематит
пирротин	сфалерит
кальцит	халькопирит

III. Минералы гидротермального процесса

А. Силикатно-сульфидная минерализация

1) ртутно-сурьмяное оруденение

кварц	серицит
кварцин	хлорит
халцедон	каолин
диккит	киноварь
монотермит	антимонит
пирит	халькостибнит
марказит	бертьерит
кальцит	валентинит
доломит	сенармонтит
гематит	сфалерит
маггемит	халькопирит
флюорит	

2) ртутно-мышьяковое оруденение

кварц	доломит
серицит	флюорит
пирит	реальгар
марказит	аурипигмент
кальцит	киноварь

Б. Карбонатно-сульфидная минерализация

кварц	гематит
пирит	лепидокрокит
марказит	барит
кальцит	флюорит
анкерит	киноварь
доломит	антимонит

IV. Перемещенные минералы

кварц	гипс
диккит	доломит
пирит	барит
марказит	киноварь
кальцит	антимонит

V. Минералы зоны гипергенеза

опал	ртуть самородная
алунит	киноварь порошковая
алюминит	метациннабарит
пиккерингит	гвадалкацарит
сера самородная	кермезит
кальцит	стибиконит
арагонит	гидроромонт
гипс	каламин
гексагидрит	медь самородная

эпсомит
лимонит
ярозит
милантерит
водный сульфат
окисного железа
псиломелан
скородит

куприт
тенорит
малахит
азурит
хризоколла
линарит
халькантит

Из них мы рассмотрим только некоторые парагенезисы.

Во II парагенезисе наиболее распространен кварц, слагающий микробрекцию, или, вернее, роговиковые породы. Его генезис объясняют проникновением гидротермальных растворов в межформационную брекцию, приуроченную к зонам дробления известняков и покрывающих их сланцев, которые как бы экранируют и создают пластовый характер таких залежей. Все это можно объяснить иначе.

При опускании блоков с зонами дробления кремнезем выщелачивается из сланцев и отлагается в виде опала, в дальнейшем он перекристаллизовывается с образованием роговиковых пород, содержащих приведенный выше комплекс минералов без сурьмы и ртути.

Не все минералы гидротермального процесса (III) действительно гидротермальны. Можно сказать, что кварцин, халцедон, серицит, хлорит, каолин, диксит, монотермит, марказит, маггемит, валентинит и сенармонтит — перемещенные минералы. Карбонатно-сульфидная минерализация, так же как и собственно перемещенные минералы (IV), вероятно, целиком относится к перемещенным минералам. Минералы зоны гипергенеза также перемещенные.

По данным М. И. Моисеевой, парагенетические ассоциации рудного поля Такели из Кураминских гор следующие.

I. Дорудная минерализация

(гальки обнаружены в верхнепалеозойских конгломератах)

турмалин
альбит
кварц
гематит
биотит

касситерит
сфен
циркон
магнетит

II. Дорудная региональная пропилитизация

альбит
ортоклаз
эпидот
пеннин

лейкоксен
кальцит
циркон
пирит

III. Арсенопиритовое оруденение

серицит и мусковит	молибденит
ортоклаз	пирит
кварц	арсенопирит
афросидерит	пирротин

IV. Полиметаллическое оруденение

фенгит	халькопирит
кварц	галенит
манганокальцит	тетраэдрит
рипидолит	прустит
анкерит	фрейбергит
рутил	бурнонит
пирит	буланжерит
сфалерит	джерсонит
	энаргит

V. Послерудные образования

барит	кальцит
анкерит	пирит
сидерит	халькопирит
аметист	клеюфан
флюорит	галенит

VI. Зона гипергенеза

марказит	скородит
борнит	англезит
халькозин	бедантит
ковеллин	монгеймит
аргентит	смитсонит
самородное серебро	гринокит
церуссит	леграндит
брошантит	гидроцинкит
куприт	аурихальцит
малахит	каолин
азурит	ярозит
миметезит	алунит
пироморфит	гипс
коркит	гетит
каламин	гидрогетит
хризоколла	ксантосидерит
медистый галлуазит	полианит
опал	псиломелан
вульфенит	арагонит
адамин	кальцит
оливинит	

II парагенезис Такели — дорудная региональная пропилитизация обусловлена гидротермальной переработкой вмещающих по-

род; так обычно принято считать, но, может быть, все это объясняется и перемещением вещества. Мы оставляем этот вопрос открытым.

Для арсенопиритового оруденения серицит, мусковит и афросидерит как первичные минералы вызывают сомнение.

Из полиметаллических оруденений тетраэдрит, прустит, фрейбергит, буланжерит, джемсонит и энаргит следует рассматривать в качестве перемещенных минералов.

Послерудные образования и зоны гипергенеза целиком следует рассматривать как перемещенные минералы.

По данным З. М. Протодыконовой, главные типы минеральных комплексов Кансайского рудного поля следующие.

Зона дедоломитизации в известняках: флогопит (белый), серпентин, кальцит.

Скарны: гроссуляр-андрадит, диопсид-салит, везувиан, магнетит. Если эти скарны переработаны гидротермально, то, кроме перечисленных минералов, присутствуют хлориты (клинохлор или прохлорит), эпидот, актинолит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, шеелит (редко).

Гидротермальные метасоматические рудные тела (в известняках, изверженных породах, скарнах).

Сплошные руды: галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, магнетит, тетраэдрит, аргентит; редко встречаются марказит, пирротин, арсенопирит и галеновисмутит.

Вкрапленные руды в скарнах: гроссуляр, андрадит (зональный и потому оптически аномальный), шефферит, галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, тетраэдрит, аргентит.

Минералы зоны цементации: гринокит, халькозин, ковеллин, борнит.

Жильные образования (в изверженных породах, известняках): манганокальцит, барит, флюорит, кварц, халькопирит, галенит; в зальбандах — делессит.

Прожилковый комплекс (преимущественно в скарнах): ксонотлит, таумасит, тоберморит, стевенсит, апофиллит, девейлит, кальцит, мылоподобный серпофит.

Минералы коры выветривания скарнов: сепиолит, опал, халцедон.

Минералы зоны окисления: церуссит, англезит, вульфенит, плюмбоярозит и другие (всего 32 минерала).

Нам кажется, что зоны дедоломитизации в известняках следует отнести к перемещенному комплексу минералов. Не все минералы скарнов первичные; хлориты следует рассматривать как перемещенные.

В гидротермальном оруденении тетраэдрит, марказит и галеновисмутит можно отнести к перемещенным минералам.

Во вкрапленных рудах зональный гроссуляр-андрадит, а также тетраэдрит безусловно принадлежат к перемещенным мине-

ралам. Зона цементации целиком состоит из перемещенных минералов.

Из перемещенных минералов наибольший интерес представляют собой прожилковый комплекс, состоящий из редких минералов, для Средней Азии впервые установленных З. М. Протодьяконовой. Эти минералы можно рассматривать как парагенные оруденению и, следовательно, «руководящими формами» при поисках скрытого оруденения.

Мы не имеем возможности в короткой статье разобрать в деталях весь вопрос перемещения минералов. Околорудное перемещение связано не с простым выветриванием, а с изменением на больших глубинах при участии перегретых вод.

В заключение отметим, что при изучении месторождений полезных ископаемых принимаются во внимание этапы тектонических перемещений, приоткрывания трещин, зоны нарушений, дайки и контакты с интрузивными породами. Не отрицая значения всех этих моментов, автор считает, что большие региональные перемещения земной коры обязаны развитию магматического процесса, связанного с ядерными реакциями взрывного характера. Прорвавшаяся в верхние горизонты земной коры магма выделяет из себя жидкую и газовую фазы и превращается в горные породы. Вверх от исходной магмы в жидкой и газовой фазах уходят плавни, образуя руды.

Этим процесс не заканчивается, так как в земной коре, имеющей мозаичное строение, отдельные блоки то опускаются, то поднимаются, происходят изменения температуры и давления, способствующие перемещению вещества в водных растворах. Само перемещение вызвано многими причинами и носит разнообразный характер. В результате получают новые парагенезисы минералов, создающие впечатление гидротермальной пульсации.

Гипотеза о перемещенных минералах может превратиться в теорию, когда многочисленная армия геологов на местах займется проверкой наших положений.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ УЗБЕКИСТАНА*

В минералогии имеется ряд направлений, одним из которых является геохимическое, созданное школой В. И. Вернадского. Оно ближе подходит к геологии, так как занимается изучением минералогии месторождений полезных ископаемых. Следует отметить, что некоторые геологи, не придавая должного значения необходимости детального минералогического исследования, утверждают, что для характеристики месторождений достаточно изучить 10—12 минералов. Придерживаясь этой точки зрения, можно дойти до крайности и для характеристики типа месторождения ограничиться изучением 2—5 минералов. Например, свин-

* Опубликовано в сб. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 14, 1962, с. 13—22.

цово-серебряно-цинковая формация может быть охарактеризована галенитом, аргентитом и сфалеритом, сурьмяно-ртутная — антимонитом и киноварью, а серебряно-кобальто-никеле-висмута-урановая — пятью минералами. Однако когда рассматривается группа месторождений одного и того же типа из разных районов, то при детальном минералогическом исследовании оказывается, что они имеют разные характеристики. Так, на одних полиметаллических месторождениях развиты сурьмяные, на других мышьяковистые, а на третьих — висмутовые сульфосоли; имеются и такие смешанные типы, у которых почти отсутствуют или совсем нет сульфосолей.

При детальном изучении месторождений полезных ископаемых на ряде рудных полей исследователи описывают от 100 до 300 минералов или их разновидностей. Изучение минералов показало, что условия формирования месторождений были не такими простыми, как казалось на первый взгляд, и понятно, что 10—12 минералами нельзя охарактеризовать рудное поле, а тем более дать по нему прогноз как на глубину, так и по простиранию. Только детальное минералогическое исследование позволит выяснить характер рудного поля.

До настоящего времени как у нас, так и за рубежом нет единого представления о рудообразовании. Среди петрографов доминирует точка зрения о непосредственной связи оруденения с конкретными интрузивными горными породами, что ограничивает глубину оруденения и его протяженность. При этом на прогнозных картах вокруг интрузивов наносится ореол распространения оруденения. Этому противоречат хорошо изученные интрузивы в Швейцарских Альпах, вокруг которых оруденение отсутствует; интрузивы украинской кристаллической полосы и Карелии тоже не сопровождаются оруденением.

А. Е. Ферсман, де Лоне и др. стояли на иной точке зрения. Они предполагали, что дуги или пояса, содержащие определенные типы оруденения, протягиваются на сотни километров. Автор настоящей статьи уже писал, что при таком решении вопроса связь с конкретными интрузивами отпадает. Нужно искать очаги оруденения на больших глубинах в связи с теми магмами, которые принимали участие в больших региональных перемещениях земной коры.

В 1940 г. мной была опубликована «Минералогия», в которой приведен схематический разрез земной коры, показывающий связь **магмы с рудным процессом**. Это было не новое положение, а очень старое, уходящее в глубь веков, которое я воспринял от своих учителей, а те, в свою очередь, от своих.

По этому положению, магма, выделив жидкую и газовую фазы, превращается в горные породы. Вверх от нее, по трещинам и разломам, уходят плавни, т. е. наши руды. Пока они не уйдут из магмы, она не может превратиться в горную породу. В магме же остаются не только литофильные элементы, но и сидерофильные

и часть халькофильных, так как полное отделение жидкой и газовой фаз и удаление с ними всех халькофилов вряд ли возможно.

По степени летучести химические элементы, с учетом их изобарического и изотонического парагенезисов, отделяются от магмы и поднимаются по разломам земной коры. На некотором расстоянии от магмы, близ критической температуры воды, из гидроксидов синтезируется вода, играющая главную роль в формировании самих рудных месторождений. Концентрация рудного вещества происходит не в магме, а в горной породе в последующее время от воздействия воды и газов.

Растворы, насыщенные газами, под очень сильным давлением прорываются вверх на большие расстояния, по пути расслаиваются и отлагают в разных плоскостях минеральные вещества, вступающие в обменные реакции с окружающими породами. Кроме собственного оруденения, выделившегося в крупных полостях, имеется еще рассеянное в гидротермально измененных породах.

При последующем переносе вещества в пределах рудного контура получаются богатые и бедные месторождения.

Обычно явления вулканизма сравнивают с рудообразованием. Хотя автор этой статьи и не согласен с подобного рода аналогией, но если можно привести такое сравнение, то следует отметить, что вулканы приурочены к определенным дугам в связи с тектоническими нарушениями. Однако по этим тектоническим дугам вулканы протягиваются не сплошной полосой, а располагаются на ней отдельными узлами. Правда базальтовые покровы свидетельствуют об излияниях лавы по большим линейным разломам земной коры, но это происходило на платформах. Если мы возьмем магматогенные растворы, то в геосинклинальных областях вдоль тектонических разломов они поднимались не сплошной полосой, а в виде отдельных струй разной мощности. Они-то и создали рудные поля и узлы, но не сплошное линейное оруденение. Следовательно, мы можем говорить о том, что, с одной стороны, одиночные месторождения вряд ли могут существовать в природе, с другой — не все структуры рудоносны. Рудоносны только те, по которым прошли магматогенные растворы, а они не могут пройти незаметно; из них всегда выделяются минералы.

В геологии много спорных вопросов. Идет затяжной спор и о том, существует ли зональность в рудных месторождениях.

По логике вещей, такая зональность существует. Есть месторождения, где она явно видна. Однако на некоторых из них можно собрать факты, свидетельствующие о том, что никакой зональности не существует. Следовательно, когда мы говорим, что факты — упрямая вещь, то мы считаем, что наши факты являются единственными и других быть уже не может. Собирать же фактический материал — дело не только трудное, но и затяжное.

Для сбора фактического материала при изучении минералогии рудных или иных полезных ископаемых автор предлагает свою геохимическую классификацию минералов, которая позволяет шаг

за шагом выявить минералы любого химического элемента. Рассматривая минерал как станцию на пути движения химических элементов в земной коре и следуя от одной станции к другой, т. е. от одного минерала к другому, содержащему тот или иной элемент, за короткий срок легко собрать нужный материал. Так, мои ученики С. Т. Бадалов, Р. П. Бадалова, Н. Т. Винниченко, М. Р. Еникеев, М. И. Исмаилов, М. И. Моисеева, З. И. Протодьяконова и др., следуя нашей системе, нашли и описали, опираясь на прежние работы, на ряде рудных полей в Кураминских горах около трехсот минералов и их разновидностей. На основании этих работ и личных исследований, автор пришел к выводу, что существует особая категория минералов, которые можно назвать перемещенными. Имеются первичные минералы разного генезиса, вторичные минералы, образованные главным образом в результате процессов выветривания и изменения первичных, и так называемые переотложенные минералы.

Термин переотложенный минерал прочно вошел в нашу литературу. Под перемещенными минералами мы понимаем не только переотложенные, которые образуются в результате растворения как первичных, так и вторичных минералов, переноса их и нового отложения, но и такие, которые формируются при более сложном процессе, когда ряд минералов растворяется, их компоненты могут не только просто переноситься в растворе, но и претерпевать изменения. Так, у них может меняться валентность; из растворов они часто выделяются в иных комбинациях. Таким образом, переотложенные минералы являются частным случаем перемещенных минералов.

Можем ли мы считать, что рудное или иное месторождение с момента его возникновения до выветривания или разрушения остается в неизменном виде? Иначе говоря, остается ли месторождение после своего возникновения все время сухим? Это относится не только к самому месторождению, но и к горным породам, подвергшимся околорудному изменению. Известно, что через рудные месторождения многократно фильтровались морские воды и воды иного происхождения. Они растворялись и переотлагали минералы. Температура у них была разная, растворяющая способность неодинаковая. Все это перерабатывало месторождения. В результате первичная зональность, если она и была, могла совершенно исчезнуть. Если не учитывать перемещения минералов внутри рудного контура, то в некоторых случаях мы можем наблюдать совершенно разные факты, которые объясняются отсутствием зональности. Однако на другом месторождении можно подобрать такие факты, которые подтверждают наличие зональности.

Для примера возьмем случаи нахождения джефферсонита в некоторых изученных нами месторождениях.

Ф. Махачки в своей «Специальной минералогии» рассматривает джефферсонит среди первичных минералов, относя его к геденбергитовому ряду, в котором железо в большой пропорции

замещено марганцем или цинком. Следовательно, в этом случае имеется силикат цинка, образованный не в условиях поверхностного окисления сфалерита и последующего осаждения из раствора в присутствии кремнезема, а при выделении из магматического раствора силикатов и тяжелых металлов. Если такая система имеет при образовании данного месторождения, то исследователь вправе думать, что это был собственно дорудный или послерудный процесс силикатной минерализации с привносом цинка из глубин, связанный с последующим развитием формирования месторождения. Таковы факты. Спрашивается, почему же здесь отсутствуют силикаты свинца и других тяжелых металлов, вместе идущих из глубины, которые, казалось бы, должны были сопутствовать цинку? Почему в растворе мигрировал вместе с кремнием только цинк, а его обычные спутники — свинец и медь, имеющиеся в обычных полиметаллических месторождениях, отсутствовали? Ответ: такова особенность месторождения.

Никто не отрицает существования особенностей у месторождений полезных ископаемых, которые не представляют точных копий друг друга. Но мы знаем, что такие тяжелые металлы, как цинк, свинец, медь, при разрушении их первичных минералов — сфалерита, галенита и халькопирита — мигрируют в разной степени. Цинк обладает наибольшей способностью к миграции. Если полиметаллическое месторождение в какой-то период своей жизни подвергалось даже частично воздействию спускающихся вод, то оно должно было изменяться с разрушением сульфидных минералов и переходом в раствор тяжелых металлов. В таком водном растворе могло произойти отделение цинка от свинца и меди. В свою очередь, растворы цинка, попав в силикатную среду, изменялись, выделяя цинк совместно с силикатами, в данном случае с марганцем, образуя минерал джефферсонит. Следовательно, джефферсонит является вторичным минералом. Однако мы его так не можем назвать, потому что у нас совершенно другое представление о вторичных минералах. Например, для цинка первичным минералом мы считаем сфалерит, а вторичными — госларит, смитсонит, каламин и другие аналогичные минералы. К такой же категории следует отнести джефферсонит? Автор полагает назвать такую категорию перемещенными минералами.

Любое рудное месторождение после образования принимает активное участие в геологической истории своего региона. Из предыдущего ясно, что при опускании отдельных блоков земной коры в нижние горизонты происходит повышение температуры и выделение или растворение разных минералов. Все это усложняет первичную картину образования месторождения. Только зная главную массу минералов месторождения, по ним, как по станциям, можно восстановить историю образования рудного месторождения. Эта история свидетельствует о том, что первоначально существовала зональность, которая связана с разной способностью отдельных химических элементов перемещаться в гидро-

термальных растворах. Сказанное дает основание утверждать, что минералогическая зональность существует. Исходя из этих позиций, можно говорить о том, что отдельные регионы складчатых зон, в металлогеническом отношении отличающиеся друг от друга по своей минерализации, следует рассматривать как минералогические провинции. Они, в свою очередь, относятся к разным эрозионным срезам земной коры. Мы не забываем о том, что один и тот же тип минерализации может относиться к разным по возрасту формациям, однако каждая эпоха минералообразования, будь то каледонская, варисская или альпийская, имеет свои вертикальные зональности минерализации. Разная минерализация, связанная с зональностью рудных процессов, для первичной эндогенной минерализации позволяет выделить отдельные регионы в минералогические провинции. Такие минералогические провинции будут соответствовать металлогеническим провинциям с нанесением на них минералогических комплексов, позволяющих глубже их охарактеризовать. Например, Швейцарские Альпы можно выделить в единую минералогическую провинцию, характеризующуюся альпийскими жилами и отсутствием полиметаллического оруденения с его типичной минерализацией. Западная Чехия представлена двумя провинциями — полиметаллическо-редкометалльной и, к северу, оловорудной. Полиметаллическая провинция Туркестанского Каратау и Кураминско-Карамазарская полиметаллическая провинция на первый взгляд идентичны, однако в минералогическом отношении они разные, и поэтому мы их выделяем в самостоятельные провинции.

Установление автором отдельных минералогических провинций является первым шагом в этом направлении. В каждую минералогическую провинцию объединяются разновозрастные образования, характеризующиеся разными типами минералогических комплексов. В дальнейшем при составлении схем или карт крупного масштаба будут выделены одинаковые минералогические провинции, но разных возрастов, скажем, ртутно-сурьмяно-мышьяковистая провинция — варисская и альпийская. В настоящем сообщении мы не будем заниматься дроблением одинаковых провинций по возрастам.

Несколько труднее обстоит дело со скарнами. Куда их следует отнести? Можно объединить все скарны в единую провинцию — скарновую. Наша работа преследует определенную цель — оказать помощь при составлении прогнозных карт полезных ископаемых. Поэтому нас интересуют не сами скарны как таковые (автор рассматривает их как перемещенную минерализацию), а их рудный комплекс. В этой связи приходится выделять шеелитовые, магнетитовые и полиметаллические скарны и относить их к разным минералогическим провинциям. Например, Курама и Моголтау, по нашему мнению, являются разными провинциями. Учитывая постепенные переходы одной минерализации в другую, автор пытается избежать дробных подразделений минералогических

провинций. К этому его побуждает и наличие перемещенных минералов, которые в месторождениях каледонского возраста могут образоваться в антропогене, в соответствии с опусканием и поднятием отдельных блоков или глыб земной коры и обработкой их в восстановительной среде горячей водой. В настоящей статье из-за ограниченности ее размеров, автор рассматривает только те минералогические провинции Узбекистана, которые связаны с эндогенной минерализацией, не считая изверженные породы. В сводке, которая составляется Институтом геологии АН УзССР, будут даны характеристики всех минералогических комплексов, начиная от изверженных до осадочных пород современного возраста. Забегая вперед, можно сказать, что для гранитоидных пород намечается две минералогические провинции: микроклиновая — юго-западная и ортоклазовая — северо-восточная. С другой стороны, для молодых осадочных пород намечается целестиновая провинция. Нанесение всех провинций на единую минералогическую карту представляет еще нерешенную проблему.

Напомним читателю, что в формировании месторождений полезных ископаемых главную роль играет вода, которая растворяет, перемещает и выделяет минералы. Если в каком-то районе имеются купоросы, квасцы растворимые и нерастворимые, алуниты, левигиты, игнатьевиты, целестин, гипс, барит, монтмориллонит, халцедон, опал в трепеловидных породах и другие простые и сложные минералы и сероводородные источники, то, вероятно, в этом месте происходила работа нефтяных вод. Здесь применима наша схема: нефть и газ-сульфатная вода преобразуется в сероводородную — самородная сера — ее окисление — на контакте таких вод с другими водами выпадают парагенные минералы серы и нефти.

Для осадочных пород такой регион автор выделяет в нефтяную провинцию. В нашей же статье мы рассматриваем только минералогические провинции, связанные с эндогенной минерализацией.

Прежде чем давать описание эндогенных минералогических провинций Узбекистана, необходимо остановиться на выделении минералогических комплексов. Такие комплексы, или парагенетические ассоциации приводятся многими авторами, изучающими рудные месторождения и стоящими на точке зрения существования рудной зональности.

Одну из таких схем приводит П. Рамдор. Она более или менее близка к схеме, которой придерживался В. И. Вернадский и которой следует автор.

Нами выделяются следующие минералогические комплексы, известные в Узбекистане и сопредельных республиках.

1. Перидотитово-змеевиковый минералогический комплекс характеризуется оливиновым и змеевиковым семействами, тальком, продуктами их изменения вплоть до карбонатов и гидратов магния, хромитом, пикотитом, миллеритом, платиновым рядом, магнетитом и другими минералами данного парагенезиса.

Указанный комплекс представлен рядом выходов ультраосновных пород в Тянь-Шане; в полосе пород, протягивающейся в Южной Фергане вдоль предгорий и далее по северному склону Нуратинских гор и после проявляется через Кызылкумы и доходит до Султан-Уиз-Дага.

2. Гранитоидно-пегматитовый с полевым шпатом, ортоклазом и микроклином, альбитом и другими полевыми шпатами, дымчатым кварцем и горным хрусталем, мусковитом, турмалином, аксинитом, лепидолитом, сподуменом, бериллом, танталитом-колумбитом, касситеритом, монацитом, цирконом, редкоземельными и редкометалльными минералами данного парагенезиса.

Этот комплекс развит по Пскему и Чаткалу, в меньшей степени — в Кураминских горах, больше в Алайском, Туркестанском, Гиссарском хребтах и на Памире, отмечается в отдельных блоках Каратюбинских, Зиаздинских и Нуратинских гор, развит в Кызылкумах и Султан-Уиз-Даге.

3. Щелочно-натриевый комплекс нефелиновых сиенитов и их аналогов с нефелином, содалитом, лазурином, канкринитом и редкометалльной минерализацией. Комплекс развит в Зеравшане, Гиссарском, Алайском хребтах, на Южном Памире (Шахдара) и в Киргизии.

3-а. Щелочно-калиевый комплекс шонкинитовых пород с лейцитом, псевдолейцитом, цирконом, магнетитом и редкометалльной минерализацией развит в Джебаглах; в западных отрогах Таласского Алатау и на Южном Памире — лейцитовые базальты.

4. Скарново-шеелитовый комплекс с шеелитом и вольфрамитом, молибденитом, повеллитом, касситеритом, станнином, арсениритом, пирротинном, самородным золотом, силикатами и алюмосиликатами скарнового типа, кварцем, ильменитом, ильванитом, пиритом и другими минералами, играющими подчиненную роль. Он развит в Нуратино-Зирабулакских и Каратюбинских горах, Моголтау, в отдельных блоках Зеравшано-Гиссарских гор, по северным склонам Алая, отчасти в Чаткальских горах и отдельных блоках Кураминских гор, в Тянь-Шане, Сонкульском районе.

5. Скарново-магнетитовый комплекс с подчиненным количеством полиметаллов, кобальтином, со значительным содержанием марганца в скарновых минералах в Таласском Алатау, Угамских и Чаткальских горах, в Моголтау, Кураминских и Карамазарских горах, в предгорной полосе вокруг Ферганской долины и Кызылкумах.

6. Касситеритово-станниново-вольфрамитовый комплекс развит в Зеравшано-Гиссарских (Мосриф, Сарымат) и Чаткальских (Саргардон) горах.

7. Медно-молибденово-золотой минералогический комплекс характеризуется халькопиритом, молибденитом и самородным золотом. Наиболее типичен на Кальмакыре в Алмалыке.

8. Полиметаллический жильный и скарново-свинцово-редкометалльный комплекс со сложной минерализацией. Общее количест-

во минералов этих провинций более 300. Из них мы отметим лишь немногие: галенит, сфалерит, самородное серебро, аргентит, сульфосоли серебра, сульфосоли сурьмяные, мышьяковистые и висмутовые свинца и меди, гринокит, халькопирит, самородное и теллурическое золото, кобальтин, молибденит, магнетит, гематит, пирит, вольфрамит, кварц, семейство змеевика, алюмосиликаты, силикаты скарнов, цеолиты, содержащие воду силикаты кальция и магния, плавиковый шпат, барит, алунит, кальцит, анкерит, сидерит.

Наиболее ярко представлены эти провинции в Кураминско-Чаткальских горах с Алмалыкской группой: Алтынтюпканском, Курусаем, Кансаем и другими месторождениями; в Гиссарских горах и Кугитанге и по южному обрамлению Ферганской долины, далее к западу вплоть до Кызылкумов — Кан, Лаккан, Канигут, Учкулач и др.

8-а. Туркестанский Каратау имеет иную полиметаллическую минерализацию, чем собственно тип 8. Особенно это заметно для редкометальной минерализации.

9. Все месторождения к северу от тектонической линии Мушкетова — Романовского — Николаева.

10. Золоторудно-теллуристо-кобальтово-мышьяковый и арсенипиритовый комплекс развит в Алайском хребте (Акджилга), в Кураминских (Алмалык-Гушсай, Такели) и Чаткальских (Бричмулла) горах.

11. Ртутно-сурьмяно-мышьяковый комплекс характеризуется примерно 200 минералами. Главнейшие из них: киноварь, гвадалказарит, антимонит, сульфосоли сурьмы, арсенипирит, реальгар, аурипигмент, таллиевый ярозит, кварц, флюорит, барит, кальцит и др. Наиболее ярко выражен этот комплекс в вытянутой узкой полосе вдоль северных склонов Алайского хребта, в Туркестанском, Зеравшанском, Гиссарском хребтах, в Кугитанге, Копет-даге, отдельных блоках Нуратинских гор и Кызылкумах, в Чаткальских горах (Сюрената, Сандалаш) и других регионах Тянь-Шаня.

12. Кварцево-гематитово-золоторудный комплекс развит к востоку от Карамазара (Чадак).

13. Кальцитно-анкерито-сидерито-барито-флюоритово-алунитовый комплекс является переходным и тесно связан с ртутно-сурьмяным. Вероятно, его не следует рассматривать как собственно эндогенную минерализацию, а отнести, как и 14 и 15, к особой категории перемещенных минералов. Эта жильная формация на глубину быстро выклинивается и переходит в другие образования. Данный комплекс развит в Приташкентском районе, начиная с Бадама и верховьев Угама, через Чаткал и Чирчик на Ангрэн и далее в Кураминские горы. Алунитово-кварцевая минерализация сопряжена с агальматолитом каолиновым и пиррофиллитовым, диаспором и дюмортьеритом, корундом, андалузитом.

15. Хрусталеносный комплекс характеризуется сравнительно небольшим списком минералов, около 100 видов и разновидностей. По нашему мнению, этот комплекс соответствует жилам Швейцарских Альп, Казбеку и Гиндукушу; развит на Памире и в меньшей степени — в Чаткальских и Таласских горах.

16. Комплекс минералов сталактитовых пещер с гнездами и жилами оптического флюорита, кальцита и барита с ртутной минерализацией. Это современные образования, связанные с перемещением веществ эндогенного характера, поэтому мы их условно относим к категории рассматриваемых минеральных комплексов эндогенного происхождения. Они значительно развиты в Гиссарско-Зеравшанских горах, Алае, меньше — по Угаму, Пскему и Чаткалу.

Настоящая схема не преследует цели полностью охарактеризовать каждый минеральный комплекс со списком минералов и точным оконтуриванием. Отдельные блоки и глыбы земной коры со своими минералогическими комплексами могут находиться в любом геологическом регионе, но они не будут для него характерными.

По минералогии, геохимии, металлогении и рудной геологии существует огромная литература в несколько тысяч названий, основную часть которой автор использовал. Здесь они из-за отсутствия места не приводятся.

Рассматривая складчатую зону Средней Азии, где, кроме складок и разломов, имеется раздробленность на отдельные блоки, которые поднимались и опускались в разной степени, на основании развития там минералогических комплексов, можно наметить отдельные минералогические провинции. Эти провинции будут характеризоваться преобладанием тех или иных минералогических комплексов.

Выделенные минералогические провинции, связанные с эндогенной минерализацией, автор рассматривает с запада на восток.

Минералогические комплексы, характеризующие провинцию, указаны не по их значимости, а снизу вверх.

1. Султан-Уиздагско-Кызылкумская провинция характеризуется наличием первого комплекса — перидотито-змеевикового; второго — пегматитового; пятого — скарно-магнетитового и отдельных блоков; десятого — золоторудного, одиннадцатого — ртутно-сурьмяного и двенадцатого.

2. Копетдагско-Кугитанская провинция характеризуется следующими комплексами; восьмой — полиметаллический без скарнов; одиннадцатый — ртутно-сурьмяный и четырнадцатый — барито-витеритовый.

3. Нуратинско-Зирабулакско-Каратюбинская провинция характеризуется первым — перидотитовым; вторым — пегматитовым в отдельных блоках; четвертым — скарно-шеелитовым (преобладающий) и оловорудным; десятым — золоторудным; одиннадцатым и двенадцатым.

Общее количество минералов, обнаруженных и изученных в этой провинции, достигает 200.

4. Зеравшано-Гиссарско-Туркестано-Алайская провинция представляет собой сложную систему с опущенными и поднятыми блоками горных дуг. Поэтому на одном и том же гипсометрическом уровне встречаются разные эрозионные срезы. В дальнейшем ее можно будет разделить на две или три провинции. Из-за того, что они не входят в Узбекистан, мы ее детально не расчленим, а приводим лишь самую общую схему. К югу от Гиссарских гор к ним примыкает Кугитангская провинция, состоящая из двух частей: Кугитангско-Копетдагской и Кугитангско-Гиссарской.

Здесь развиты следующие комплексы: второй — пегматитовый; третий — щелочно-натровый с нефелином и содалитом; четвертый — скарново-шеелитовый; пятый — скарново-магнетитовый с аксинитом; шестой — касситерито-станнино-вольфрамитовый; восьмой — полиметаллический; десятый — золоторудный, теллуристый, одиннадцатый — ртутно-сурьмяный; пятнадцатый — оптический флюорит-барит и кальцит.

Общее количество минералов этой провинции более 200.

5. Памирско-Дарвазская провинция характеризуется наличием, с одной стороны, блоков глубоких срезов, с другой — верхних: первый комплекс — ультраосновной минерализации; второй — пегматитовый; третий — щелочно-натриевый; седьмой — медно-молибденово-золоторудный; одиннадцатый — ртутно-сурьмяный; тринадцатый — кальцито-анкерито-сидеритовый; пятнадцатый — хрусталеносный (развит в значительной степени).

6. Южноферганская провинция начинается от Кызылкумов и протягивается вдоль гор Нуратау — южная часть Голодной степи, далее у подножья хребтов Мальгузар, Туркестанского и Алайского. Для данной провинции свойственны следующие минералогические комплексы: первый — с ультраосновной минерализацией; пятый — скарново-магнетитовый; восьмой — полиметаллический; десятый — золоторудно-теллуристый; одиннадцатый — ртутно-сурьмяный (преобладающий).

7. Кураминско-Карамазарская минералогическая провинция характеризуется следующими минералогическими комплексами: второй — пегматитовый в отдельных блоках в очень подчиненном количестве; пятый — скарново-магнетитовый; седьмой — медно-молибденово-золотой (преобладающий); восьмой — полиметаллический жильный и скарновый (преобладающий в большей степени); десятый — золоторудно-теллуристо-мышьяковый; одиннадцатый — кварцево-гематитово-золоторудный; двенадцатый — кальцито-кварцево-барито-флюорито-алунитовый.

7-а. Моголтауская минералогическая подпровинция нами выделяется особо, так как не содержит другого типа оруденения и этим отличается от Кураминско-Карамазарской.

8. Чаткальско-Пскемско-Угамская провинция с примыкающей к ней западной частью Таласского хребта характеризуется более сложной минерализацией, чем предыдущая Кураминская, в которую она постепенно переходит.

Известны следующие минералогические комплексы: второй — пегматитовый; четвертый — скарно-шеелитовый в подчиненном количестве; пятый — скарно-магнетитовый, более развитый; шестой — касситерито-вольфрамитовый; седьмой — медно-молибденовый в подчиненном количестве; восьмой — полиметаллический жильный и скарновый; десятый — золоторудно-теллуристо-мышьяковый; одиннадцатый — ртутно-сурьмяный в подчиненном количестве; двенадцатый — кальцитово-флюоритово-алунитовый; четырнадцатый — хрусталеносный; пятнадцатый — оптического кальцита.

9. Каратауская минералогическая провинция. Наличие в ней полиметаллической минерализации (Чаткальской) заставляет нас сравнивать ее с соседними минералогическими провинциями, которые отличаются от Каратауской своей минерализацией.

10. Территория к северу от тектонической линии Мушкетова — Романовского — Николаева характеризуется очень сложной минерализацией. Из-за сложности ее следует разделить на ряд минералогических провинций, но так как она находится за пределами Узбекистана, мы ее здесь не рассматриваем.

Выделенные нами минералогические комплексы и минералогические провинции являются предварительным этапом, который может лечь в основу составления минералогической карты, необходимой для объективного прогнозирования месторождений полезных ископаемых. Однако, если стать на позицию зональности минерализации, то даже на основании этой предварительной схемы можно говорить о том, что недра Узбекистана и сопредельных республик таят в себе еще много полезных ископаемых, так как эрозионные срезы в разных регионах указывают на возможность скрытого оруденения.

В 1928 г. А. Е. Ферсман дал первое геохимическое районирование Средней Азии, а также А. Ф. Соседко, Д. И. Щербаков и Б. Н. Наследов. В 1937 г. в сборнике «Минеральные ресурсы УзССР», изданном Комитетом наук УзССР, была напечатана моя статья «Геохимический очерк Узбекистана». В ней выделено семь геохимических узлов.

1. Нижнеамударьинский соответствует Султан-Уиздагско-Кызылкумской провинции.

2. Кенимехско-Нуратинский (Кульджуктау-Нуратинская) — Нуратинско-Зирабулакско-Каратюбинской провинции.

3. Ширабад-Кугитангский — Копетдаг-Кугитангской провинции.

4. Каратюбе-Мальгузар — разделен и входит в две провинции — Кураминско-Зирабулак-Каратюбинскую и Зеравшано-Гиссарско-Туркестано-Алайскую.

5. Геохимический узел Ферганской долины разделен на несколько провинций.

6. Карамазарский, или Кураминско-Моголтауский узел разделен на Кураминско-Карамазарский и Моголтауский.

7. Чирчикский, или Тяньшанский теперь именуется Чаткало-Пскемско-Угамской провинцией.

Многие мои прогнозы, указанные в то время, в дальнейшем подтвердились. Это свидетельствует о правильности геохимического подхода для решения геологических проблем. Настоящее выделение минералогических провинций также базируется на геохимическом подходе в минералогии и автор надеется, что оно принесет пользу геологии.

НОВАЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА ОБРАЗОВАНИЯ ЗЕМЛИ*

В настоящее время в научной и популярной литературе уделяется большое внимание вопросам образования Земли как планеты.

Очевидно, что прежние гипотезы образования Земли не вполне удовлетворяют запросам научной мысли. Да это и понятно, так как успехи физики и химии настолько велики, что старые представления быстро отживают и требуются новые гипотезы для объяснения образования солнечной системы.

В настоящее время считается, что существует семь видов состояний материи:

1 — живое вещество, 2 — твердое, 3 — жидкое, 4 — газообразное, 5 — плазматическое, 6 — лучисто-радиоактивное, 7 — античастицы.

Температура плазмы достигает миллионов градусов. Чрезмерные температуры, плазматическое состояние и античастицы — это новое в науке, с чем следует считаться для понимания мироздания.

Мы не должны забывать и наших предшественников, которые обладали удивительным даром предвидения. Одним из таковых был академик Владимир Иванович Вернадский.

В настоящей статье автор не рисует полной картины формирования и развития Земли, а дает лишь предварительную схему ее образования, которая отличается от общепризнанной, и в силу этого обстоятельства многие вопросы, затронутые в ней, являются дискуссионными.

Имя В. И. Вернадского теперь известно широкому кругу советских людей. Это был выдающийся русский ученый-минералог, геохимик, биогеохимик, натурфилософ и академик — общественный деятель, уделявший большое внимание прикладной геологии и минералогии. Прежде всего он был минералог, но не тот мине-

* Опубликовано в сб. «Научные труды», сер. геол., вып. 234, 1964, с. 7—21.

ралог, который интересуется только формой вещества, а минералог-геохимик. Поэтому в одной из своих работ он писал: «Среди всех геологических наук ни одна не проникает так глубоко и так по-своему в проблему времени, как геохимия. Это обусловлено тем, что геохимия занимается историей химических элементов, сводимой к истории атомов — основных единиц научного мировоззрения» (1). Вместе с тем он указал, что минералогия является историей молекул земной коры и Земли (2). Кроме того, он обосновал свои положения о том, что пространство анизотропно, что в нем наблюдается симметрия и асимметрия, правизна и левизна (3). В. И. Вернадский, будучи широко образованным человеком, обратил внимание на работы Пастера в области симметрии правовращающихся и левовращающихся кристаллических веществ, что левовращающие свойственны живому веществу. Вот, что он писал: «Пастер, глубокий, точный и яркий научный мыслитель, искал причину открытого им явления в физико-химических свойствах живого вещества. Он ясно сознавал, что они по своим законам те же, какие мы наблюдаем в косных телах окружающей нас земной природы. Он считал, что явление связано со свойствами физического космического пространства. Он думал, что есть космическое пространство правое и левое и, что солнечная система сейчас находится в левом пространстве, но процессы будут выявляться по-иному, когда она войдет в правое космическое пространство». И далее, развивая эту мысль, Вернадский пишет: «Но указание Пастера не может быть отброшено без внимания. Дело в том, что мы в космических просторах наблюдаем правизну-левизну в условиях, в которых живое вещество в них быть не может, и в то же время эти проявления правизны-левизны кажутся в наших представлениях космическими материальными телами основного значения. Это проявление спиральности небесных туманностей, неизбежно право-левых материальных движений, перед которыми Солнце теряется, как пылинка. И все же, если половина (как в кристаллических многогранниках при кристаллизации) спиральных туманностей окажется правой, а половина левой, — будет один вывод о характере космического пространства, а если будут преобладать на всем небосводе или правые, или левые — другой вывод. Наконец возможно, что разные части небосвода — разные: правые или левые».

В более ранней своей работе «Проблема времени в современной науке» (1) В. И. Вернадский писал, что «время есть одно из основных проявлений вещества, неотделимое от него его содержание».

Он писал: «Неоднородность физического пространства выявляется динамически. Она вечно меняется — меняется и во времени. Так как реальное пространство состоит из разных частей, эта динамическая неоднородность проникает все реальное пространство».

«И оно приводит нас к такому пониманию пространства — времени, в котором и пространство яснейшим образом перестает быть неподвижным пространством геометрии. Оно становится неустойчивым, динамическим, текучим пространством»... О самом веществе Вернадский пишет, что атомы «бренны», т. е. имеют свой срок жизни. «Дело в том, что закономерная бренность атомов, взятая в целом, ясно видна только в большой мере времени. Поэтому она исчезает из кругозора химика, в обычной работе имеющего дело с химическими элементами в пределах человеческого или исторического времени»...

Таким образом, по Вернадскому, пространство в Космосе, в котором возникла солнечная система, и современное пространство, занимаемое ею, это разные по содержанию и по качеству пространства, вернее говоря, разные космические поля.

Вся солнечная система мчится в направлении созвездия Геркулеса. На своем пути она многократно пересекала разного типа космические поля, встречалась с разными метеоритными потоками и пылевыми облаками. Непрерывно подвергалась космическому облучению. Все это создавало разнообразие условий во времени и пространстве.

Автор настоящей гипотезы образования Земли принимает это положение за исходное, считая, что космическое пространство состоит из разных полей — магнитных, гравитационных и других, что оно анизотропно. Второе положение, являющееся основным, это то, что Земля образовалась из метеоритов и метеоритной пыли. Следовательно, мы должны допустить и третье положение, что Земля формировалась не только из атомов, но и из минералов, составляющих метеориты и метеоритную пыль. Во времени метеориты и метеоритная пыль были различны и по качеству и по количеству, так как в мире все течет и все меняется. Основываясь на изотоническом и изобарическом парагенезисе химических элементов, автор высказал свой взгляд на формирование Земли (4), что образованию ее положили начало тяжелые железные метеориты. В настоящей работе этот вопрос рассматривается с минералогических позиций, с учетом высказываний своего учителя о пространстве и времени.

Автор не приводит исторического обзора многочисленных гипотез образования Земли, так как они известны читателям по учебникам геологии, геофизики и геохимии, а также по современным работам А. П. Виноградова (11), Г. С. Джонса (19), В. В. Тихомирова (12), В. Г. Фесенкова (13) и О. Ю. Шмидта (14). Они были в свое время живо изложены де Лоне (15) и А. Е. Ферсманом (16).

Прежде чем излагать сущность данного вопроса, следует напомнить читателю о своих высказываниях относительно изотопов, параэлементов, изотонического и изобарического парагенезиса химических элементов, о протокристаллах и перемещенных минералах. Эти вопросы имеют свою историю, которая не уклады-

вается в рамках настоящей статьи, поэтому данные вопросы будут освещены в самом сжатом виде.

Автор классифицировал химические элементы по содержанию в них устойчивых или долгой жизни изотопов. Таковых оказалось

Таблица 1

Параэлементы химических элементов

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0	
1	${}^{55}_{2}\text{H}$ —								${}^2_0\text{He}$ +	
2	${}^{23}_{3}\text{Li}$ —	${}^{34}_{4}\text{Be}$ +	${}^{59}_{5}\text{B}$ —	${}^{35}_{6}\text{C}$ —	${}^{23}_{7}\text{N}$ —	${}^{58}_{8}\text{O}$ +	${}^{41}_{9}\text{F}$ +		${}^3_{10}\text{Ne}$ +	
3	${}^{47}_{11}\text{Na}$ —	${}^{47}_{12}\text{Mg}$ +	${}^{46}_{13}\text{Al}$ —	${}^{49}_{14}\text{Si}$ —	${}^{34}_{15}\text{P}$ —	${}^{53}_{16}\text{S}$ +	${}^{31}_{17}\text{Cl}$ +		${}^3_{18}\text{Ar}$ +	
4	${}^{40}_{19}\text{K}$ —	${}^{47}_{20}\text{Ca}$ +	${}^{16}_{21}\text{Sc}$ —	${}^{36}_{22}\text{Ti}$ —	${}^{52}_{23}\text{V}$ —	${}^{27}_{24}\text{Cr}$ —	${}^{41}_{25}\text{Mn}$ —	${}^{63}_{26}\text{Fe}$ +	${}^{25}_{27}\text{Co}$ +	${}^{45}_{28}\text{Ni}$ +
5	${}^{48}_{29}\text{Cu}$ +	${}^{56}_{30}\text{Zn}$ +	${}^8_{31}\text{Ga}$ —	${}^{17}_{32}\text{Ge}$ —	${}^{42}_{33}\text{As}$ —	${}^{22}_{34}\text{Se}$ +	${}^8_{35}\text{Br}$ +		${}^6_{36}\text{Kr}$ +	
6	${}^{17}_{82}\text{Pb}$ —	${}^{32}_{38}\text{Sr}$ +	${}^{34}_{39}\text{V}$ —	${}^{28}_{40}\text{Zr}$ —	${}^{30}_{41}\text{Nb}$ —	${}^{22}_{42}\text{Mo}$ —	Tc —	${}^9_{44}\text{Ru}$ +	${}^9_{45}\text{Rh}$ +	${}^{13}_{46}\text{Pd}$ +
7	${}^{25}_{47}\text{Ag}$ +	${}^9_{48}\text{Cd}$ +	${}^7_{49}\text{In}$ —	${}^{32}_{50}\text{Sn}$ —	${}^{37}_{51}\text{Sb}$ —	${}^{21}_{52}\text{Te}$ +	${}^{11}_{53}\text{J}$ +		${}^9_{54}\text{Xe}$ +	
8	${}^{18}_{55}\text{Cs}$ —	${}^{34}_{56}\text{Ba}$ +	TR —	${}^{12}_{58}\text{Hf}$ —	${}^{27}_{59}\text{Ta}$ —	${}^{27}_{60}\text{W}$ —	${}^3_{61}\text{Re}$ —	${}^8_{62}\text{Os}$ +	${}^9_{63}\text{Ir}$ +	${}^{15}_{64}\text{Pt}$ +
9	${}^{17}_{79}\text{Au}$ +	${}^{21}_{80}\text{Hg}$ +	${}^{21}_{81}\text{Tl}$ —	${}^{47}_{82}\text{Pb}$ —	${}^{32}_{83}\text{Bi}$ —	${}^1_{84}\text{Po}$ +	At +			
10	${}^{87}_{87}\text{Fr}$ —	${}^8_{88}\text{Ra}$ +	${}^1_{89}\text{Ac}$ —	${}^{30}_{90}\text{Th}$ —	${}^1_{91}\text{Pa}$ —	${}^{39}_{92}\text{U}$ —				
			${}^{32}_{58}\text{Ce}$ —							

Примечание. Количество устойчивых изотопов элемента — внизу, параэлементов — сверху, (+) — правое, (—) — левое вращение. Данные заимствованы из минералогии Шюллера, где приведена таблица Финке 1949 г. Для параэлементов все редкие элементы приняты за единицу, кроме церия.

десять семейств, начиная от моноизотопов — алюминия и кончая декаизотопами — оловом (табл. 1).

Протокристаллом автор называет реально существующую окристаллизованную молекулу вещества, из которых состоят реальные кристаллы. Параэлементами автор считает такие химические элементы, которые совместно входят в протокристаллы, например K, Al, Si и O образуют ортоклаз, все эти элементы являются параэлементами друг друга.

Под изобарическим парагенезом химических элементов автор понимает такое явление, когда отдельные их изотопы имеют одинаковый атомный вес, например: К 40 — Са 40; Са 46 — Ti 46; Са 48 — Ti 48; Fe 58 — Ni 58; Zn 70 — Ge 70; In 115 — Sn 115 и др. Под изотоническим парагенезом автор понимает такое явление, когда отдельные изотопы химических элементов имеют одинаковое количество нейтронов, например: Mg 14 — Al 14 — Si 14; Si 16 — P 16 — S 16; Са 24 — Sc 24 — Ti 24; Zn 38 — Ga 38 — Ge 38 и проч. Под перемещенными минералами автор понимает такие, которые образовались в последующее время в

Данные

	Расстояние от солнца, млн. км	Расстояние от солнца в единицах расстояния Земли от Солнца	Продолжительность года	Продолжительность суток	Диаметр по сравнению с Землей	Диаметр в километрах
Меркурий	58.0	0.4	88 сут.	88 дн.	0,38	5140 км
Венера	108.0	0,7	224 сут.		0,07	12200
Земля	149.5	1.0	1 год	23 ч. 53 м.	1,00	12757
Марс	228.0	1.5	1.9 г.	24 ч. 37 м.	0,53	6800
Юпитер	778.0	5.2	11,9 л.	9 ч. 50 м.	11.26	142700
Сатурн	1426.0	9.2	29,5 л.	10 ч. 14 м.	9.45	120300
Уран	2869.0	19.2	84,0 г.	10 ч. 48 м.	4,0	53390
Нептун	4496.0	30,1	164,8 г.	15 ч. 48 м.	4,3	49670
Плутон	5929.0	39.6	249.7 л.			6000

месторождениях или в горных породах при воздействии главным образом перегретой, а иногда и холодной воды, или газов, при опускании и поднятии отдельных блоков Земли.

Прежде всего следует сказать, что в солнечной системе Солнце образовалось первым из рассеянной плазмы космических туманностей, планеты сформировались позже и не все сразу, а постепенно из космической пыли и метеоритов, пройдя долгий путь своего развития (табл. 2).

Между Марсом и Юпитером имеется 1584 малых планет на 1958 год (малые планеты — планетоиды или астероиды) и около 30 000 мелких тел. Земной спутник Луна находится на расстоянии от Земли от 354 до 406 тысяч километров, она имеет диаметр 5476 километров, т. е. в четыре раза меньше Земли. Объем Луны в 50 раз меньше Земли. Плотность Луны 3,3 (уд. в.), период вращения вокруг своей оси 27—1/8 земных суток.

Если мы допускаем мысль о том, что в Космосе мчались метеориты и неслась метеоритная пыль, то мы вправе задать себе

вопрос, почему же все это вдруг сразу собралось в единое громадное тело, в котором начались процессы сжатия, радиоактивного распада, разогревания и даже зонная плавка. Правдоподобно ли все это? Если в Земле происходила зонная плавка, то в природе существовал бы особый генезис и парагенезис минералов, соответствующий этой плавке, что до сих пор не наблюдалось. При зонной плавке происходит разделение металлов по температуре плавления. В таком случае ниобий, цирконий и платина должны были бы концентрироваться вместе, что не наблюдается. Цирконий, ниобий были бы приурочены к ультраосновной

о планетах

Таблица 2

Объем в сравнении с Землей	Максимальная температура по верхности	Масса при Земле 1	Плотность	Атмосфера	Спутник	Магнитное поле	Солнце при Земле 1
0,05	350°	0,04	4,9	нет	0	нет	радиус—
0,92	60°	0,81	5,1	сплош. об- лач.	0	нет	109,05 поверхность
1,00	60°	,00	5,5	облач.	1	есть	
0,15	30°	1,11	3,9	имеется	2	есть	11918, объем
1345	-138°	318,00	1,4	разреженная	12		
767	-153°	95,00	0,7		9		1301000,
63,0	-184°	14,60	1,3	сплошная облач.	5		масса
78,0	-200°	17,30	1,2		2		332270,
	-220°				0		D=0,255

магме, что не соответствует действительности. Все это также мало вероятно, как и то, что планеты являются вырвавшимися факелами из Солнца. Последнее мало правдоподобно потому, что Солнце имеет несколько иной состав, нежели Земля, что оно выбрасывает из себя не метеориты, а плазму вещества, которая рассеивается в космосе и в дальнейшем частично поглощается планетами.

Автор считает, что минералы могут образоваться только в некоторых планетах при сравнительно узком интервале температуры и давления, в звездах или солнцах минералы не могут образовываться.

Выброшенная звездой плазма при остывании превращается в атомы, которые рассеиваются в космическом пространстве. Для создания из атомов кристаллической решетки необходимы условия, способствующие концентрации вещества, что имеет место только на планетах типа Земли.

Для того, чтобы положить начало формированию такого космического тела, как планета, надо соблюсти много условий.

Одно из них — тот теоретический центр, вокруг которого начинается рост будущей планеты. Как отдельные атомы могли собраться в компактную массу? Этот вопрос чисто астрономический и с этой позиции мы не будем его рассматривать. Мы можем рассматривать с минералогической позиции богатейшие коллекции метеоритов, собранные человечеством. Среди минералов метеоритов имеются такие, которые содержат углерод — алмаз, графит, муассанит, когенит, а также фосфор — шрейберзит, апатит и др., кроме того, хлорлауренсит и др. Так как среди главных породообразующих минералов глубинных пород мы не находим минералов, содержащих углерод, фосфор и хлор, а встречаются они там лишь в виде аксессуаров, то мы можем допустить мысль, что метеориты, содержащие эти элементы, попали на землю в последний период ее развития, хотя сами они могли быть очень древними и долго находились в космосе, следовательно, такого типа метеориты в то далекое время не принимали участия в формировании Земли.

Это позволяет нам говорить о том, что среди метеоритов имеются ферромагнитные тела — железные метеориты. Если им в Космосе сообщить дополнительный импульс (резонанс), то они станут подтягиваться друг к другу на более близкое расстояние и создадут вокруг себя магнитное поле, обуславливающее дальнейшую сегрегацию ферромагнитных тел. Откуда же может получиться такой дополнительный импульс (резонанс)? Железо и вся восьмая группа элементов являются правовращающими, причем кобальт и родий — моноизотопы, иридий — диизотоп, железо — тетраизотоп, никель — пентаизотоп, палладий и платина — гексаизотопы, а рутений и осмий — гептаизотопы. Видимо, космическая судьба этой группы элементов неодинаковая. Если же мы рассмотрим с этих позиций семейство железа Ферсмана — Гольдшмидта, то заметим у них еще большую разницу. Титан, ванадий, хром и марганец — левовращающие, а железо, кобальт и никель — правовращающие.

Принимая за основу наших представлений правое и левое космическое пространство Пастера-Вернадского, иначе говоря космические поля, то мы можем сделать заключение, что пока потоки железных метеоритов неслись в левых космических полях, то они не могли сегрегироваться. Как только они попали в правое космическое поле, то правовращающие элементы получили дополнительный импульс (резонанс), т. е. скорость их вращения увеличилась, и железные метеориты начали сегрегироваться, создавая вокруг себя локализованное магнитное поле, вовлекающее в себя ферромагнитные тела.

В правовращающем космическом поле правовращающиеся элементы приобретают дополнительную скорость, что создает усиление ферромагнитных свойств железных метеоритов. В лево-

вращающем космическом поле из широкораспространенных левовращающих химических элементов известны натрий, калий, алюминий и кремний. Они не обладают ферромагнитными свойствами, поэтому, получив свой дополнительный импульс (резонанс), они не смогли бы создать такого магнитного поля, которое обусловило бы сегрегацию химических элементов и тем более минералов. Только железные метеориты, содержащие никель и в подчиненном количестве остальные элементы восьмой группы, попав в правовращающее космическое поле, и, получив дополнительный импульс (резонанс), смогли сегрегироваться в большое тело. Золото, как и платина, правовращающее и имеет 118 нейтронов так же, как и один из изотопов платины, но оно не обладает ферромагнитными свойствами, поэтому вряд ли золото имело возможность быть захваченным в железное ядро Земли, как самостоятельный минерал, а не как вкрапленность среди других минералов метеоритов. К Проземле затем должны были присоединиться сульфиды железа, которые тоже имеют правое вращение, главным образом, пирротин — магнитный колчедан, троилит и из кислородных соединений сам магнетит, у которого и железо и кислород правовращающие. За пирротин следовал пентландит и, вероятно, халькопирит. Таким образом, было сформировано ядро Земли плотностью от 5,68—9,69 до 9,10—12,12 субъядра. Из этого можно сделать вывод о присутствии в субъядре платинового ряда элементов, которые повысили его удельный вес. Плотность железа — 7,8 никель — 8,9, кобальта — 8,8, меди — 8,9, а платины — 19—21.

Когда Проземля выросла до значительных размеров за счет железных метеоритов и когда усилилось ее магнитное поле, то она начала притягивать к себе метеориты и метеоритную пыль оливинового состава. Оливин — ортосиликат магния, содержащий закисное железо, он имеет островную структуру с кремнекислородными тетраэдрами. Железо, магний и кислород — правовращающие, а кремний — левовращающий. В тетраэдрах кислород занимает вершины, а кремний, имеющий значительно меньший радиус иона, чем кислород, находится в центре тетраэдра, он закрыт со всех сторон кислородом. Такой кремне-кислородный тетраэдр будет правовращающим. Очевидно, что и метасиликаты семейства пироксенов с цепочечной структурой, содержащие закисное железо, но не заключающие в себе левовращающих элементов, таких, как щелочи, алюминий, титан и марганец и др., тоже последовали за оливиновым семейством. Таким образом, постепенно начала накапливаться перидотитовая мантия, или сима, которая распространялась от 2900 км до 900 км.

Это продолжалось до тех пор, пока солнечная система не вышла из правовращающего поля и не вошла в левовращающее, тогда начали попадать на Землю такие левовращающие элементы, как водород, щелочи, титан, марганец, уран, торий, олово, сурьма, молибден, вольфрам и другие. К этому времени масса Земли зна-

чительно увеличилась, поэтому, кроме магнитного поля, начала действовать сама масса вещества, т. е. земное тяготение.

Химические элементы объединяются не только благодаря направлению своего вращения — спину, но и благодаря изобарическому и изотоническому парагенезису (5), установленному автором. В поверхностных условиях Земли последние играют большую роль, чем спин элементов.

Рассматривая третий период химических элементов, замечаем, что натрий, алюминий, кремний и фосфор левовращающие, а магний, сера и хлор — правовращающие. Натрий, алюминий и фосфор — моноизотопы, хлор — диизотоп, магний и кремний — триизотопы, сера — тетраизотоп. Вероятно, моноизотопы являются более молодыми элементами, чем полиизотопы, такие как магний и железо. Однако, прямых доказательств этого положения мы не имеем. Во всяком случае можно определенно говорить о том, что моноизотопы генетически отличаются от полиизотопов.

Благодаря действию магнитного поля, силы взаимного притяжения масс, изобарического и изотонического парагенезиса были вовлечены в сферу Проземли все химические элементы. Происходило это постепенно, сначала подтянулись амфиболы с закисным железом (вероятно первая вода на Землю пришла вместе с ними), потом были подтянуты железисто-магнезиальные слюды, а после уже алюмосиликаты и другие минералы. На Земле стала формироваться алюмосиликатная оболочка — сиаль. Понятно, на Землю продолжали падать железные и ортосиликатные метеориты, но их было меньше, чем алюмосиликатной космической пыли.

Благодаря тому, что алюминий и кремний оба левовращающие и благодаря изотоническому парагенезису (Al и Si имеют по 14 нейтронов) в алюмосиликатах они могут занимать разное положение в пространственных решетках, но друг от друга они отходят с большим трудом и идут всегда вместе.

Сиама сложена ультраосновными породами, состоящими из ортосиликатов и ромбических метасиликатов. Сиаль сложена комплексом от основных до кислых пород, от габбро до гранитов, где главную роль играют полевые шпаты, т. е. алюмосиликаты. Плаггиоклазы содержат кальций и натрий, которые появились на Земле с начала формирования Сиаля. Что же касается калия, то он был принесен с ортоклазом или лейцитом в конце образования Сиаля. Здесь следует отметить, что хотя нам неизвестна причина количества параэлементов отдельных элементов, так как это явление очень сложное, но можно допустить мысль, что одна из них является космической. Так, Na, Mg и Ca имеют по 47 параэлементов; Al 46, Si 50, а калий всего 40. Заниженное количество параэлементов у калия заставляет предполагать его более позднее появление на Земле, тем более что он радиоактивный.

В настоящее время вопрос о происхождении изверженных горных пород пересматривается как геологами-петрографами, так и экспериментальными минералогами. Так Ж. Виар (8,9) своими

экспериментами показал, что граниты можно получить путем пропаривания глин в автоклаве перегретыми парами воды. На основании этого и главным образом полевых наблюдений можно прийти к выводу, что не только граниты, но и сиениты и некоторые другие изверженные породы образуются метаморфическим путем. Об этом теперь говорят многие геологи и геохимики. Если это так, то тогда, вероятно, верхняя часть сиала никогда не была переплавлена в полном смысле этого слова, но была только пропарена перегретыми парами воды.

Материалом для гранитоидов послужила космическая пыль последнего периода формирования сиала.

Минералогические исследования горных пород симы — перидотитов и сиала — от габбро до гранитов показали отсутствие в них минералов углерода и азота. Однако, некоторые геохимики находят в них эти элементы, считая, что они попали туда из больших глубин (смотри выше об углероде в ядре).

Углерод и азот — левовращающие днизотопы, связанные друг с другом изотоническим парагенезисом: у них по 7 нейтронов. По своему характеру — резкого преобладания одного из изотопов (C^{12} — 98,9%, N^{14} — 99,62%) они приближаются к моноизотопам. Со времени появления этих элементов на Земле начинает развиваться жизнь.

Интересно отметить, что по Вернадскому главная масса органических кристаллов — левовращающие; в то время как кварц из хрусталеносных жил на 50% левый и на 50% правый. Отсюда можно сделать выводы: а) тетраэдры SiO_4 , из которых формируются силикаты и алюмосиликаты и сам кварц, частично заимствованы из тех силикатных метеоритов, которые попали на Землю во время формирования сиала; б) часть SiO_4 глубинного происхождения заимствована из симы, проникнувшая в сиаль в связи с перемещением вещества; в) некоторая часть кремнезема прошла биолитный цикл и спустилась в нижние горизонты.

Левовращающее органическое вещество, состоящее из углерода и азота, появилось на Земле в конце формирования сиала. С этой концепцией находятся в противоречии: выделение азота и уголекислоты из вулканов и алмаз и графит в кимберлитах в воронках взрывов в парагенезисе с ультраосновными породами — дунитами и некоторые минералы метеоритов. Вопрос об эндогенных карбонатах до сих пор не решен однозначно.

Автор стоит на своих прежних позициях, говорящих о том, что вулканическая и магматическая деятельности Земли не представляют собой полной аналогии. Вулканы образуются в результате ядерных взрывов, а уголекислота, пары воды, азот и хлор заимствованы из верхних горизонтов Земли, вероятно из воды океанов. Углерод алмаза получен из органических осадков (главным образом из нефти), которые были прорваны вулканическими взрывами.

Установленные автором параэлементы (6) показали, что углерод имеет 35 параэлементов, а азот и того меньше — 23. Если бы углерод и азот принимали участие в геохимической жизни Земли с начала формирования симы, то под воздействием среды они бы к ней приспособились и имели бы по 50 параэлементов. В особенности это относится к углероду, так как известно, что в лабораторных условиях получено множество металлоорганических соединений. Следовательно, эти элементы попали на Землю не раньше конца образования Сиала. Часто геохимики делают подробные и очень точные химические анализы минералов и горных пород, находя в ультраосновных породах литий, рубидий, цезий, в кварце — хлор и тому подобное, на основании чего заключают, что найденные элементы глубинного происхождения, в то время как все это могло быть занесенным из верхних горизонтов в нижние. Известно, что вся суша в разное время покрывалась морями. Естественно, что морские воды проникали в большие глубины Земли, где отлагали свои соли в порах пород или в минералах во время многократных их перекристаллизаций, поэтому, не учитывая перемещенные минералы, можно легко прийти к ошибочным выводам.

Метеоритная гипотеза образования Земли предполагает, что разогревание ее и весь термический режим обуславливаются радиогенными причинами. Известно, что железные метеориты и ортосиликаты магния — мантии или Симы не содержат радиоактивных веществ или содержание их ничтожно. Главная масса радиоактивных веществ содержится в Сиале. Следовательно, железное ядро Земли не разогревается радиогенным теплом. Кроме того, оно сложено крупными железными метеоритами, поэтому в нем вероятно имеются сферические своды, обуславливающие низкое давление и низкую температуру центра Земли. Благодаря чему сохраняются ферромагнитные ее свойства. При геофизических расчетах для выяснения величины давлений и температуры обычно учитывается только одно радиальное направление и не принимается во внимание тангенциальное давление. Надо полагать, что радиогенное разогревание было равномерным во всей верхней части Земли и после остывания у нее получилась бы поверхность, как у печеного яблока. Но такое предположение не объясняет современную структуру Земли, в особенности существование океанов. Кроме того, это положение должно допустить затухание радиоактивного процесса, после чего Земля смогла остывать, что является недоказанным. Космическое излучение, поглощенное Землей, создает ряд элементов, в том числе и радиоактивные, поэтому говорить о тепловой смерти Земли нет никаких оснований.

Видимо, кроме равномерного разогревания Земли были в ней и отдельные вспышки, обусловленные ядерными взрывами, о чем мы уже писали в 1947 году (8). По нашему мнению, ядерные взрывы обусловлены погружением урановых рудных полей на

такие глубины, в которых под действием тепла просходит диссоциация химических соединений с отделением кислорода от урана. При достижении критической массы сблизившихся атомов урана, могли произойти взрывы. Множественные ядерные взрывы в дополнение к радиогенному теплу разогревают Землю и создают в ней магматические очаги, совершающие огромную тектоническую работу, в том числе землетрясения и вулканические извержения. При этом продукты цепных реакций ядерных взрывов поглощаются мощной толщей вышележащих горных пород. Видимо, огромные взрывы, идущие в меридиональном направлении, разорвали сиалическую оболочку, которая во время вращения Земли разошлась в стороны, дав место образованию океанов. Разрыв верхних зон Земли на больших глубинах в широтном направлении невозможен, т. к. ему препятствуют магнитные силы, направленные по меридианам. Существующее широтное направление разрывов Средиземноморья и Красного моря говорят о вращательном движении материков. Широтные разломы, связанные с горообразовательными процессами, идут на небольшие глубины в космическом смысле. По последним типам разломов земная кора или верхняя ее зона не расходятся на большие расстояния.

Рост Земли происходит не только за счет космической пыли и метеоритов, но и за счет атомов и космического излучения, главным образом, Солнца, которое не только поглощается огромными толщами Земли, но и преобразовывается в атомы, в том числе и радиоактивные. Здесь следует отметить, что, если бы радиоактивные вещества не регенерировались или не возникали снова, то они бы в природе теперь не существовали.

Нифе-железное ядро, сима и нижняя часть сиала находятся под очень высоким давлением, поэтому во время образования больших разломов в верхних зонах земли, нижележащие зоны, получив гравитационную разгрузку, начинают расширяться, способствуя перемещению материков, о чем в свое время писал Вегенер. Большое количество параэлементов меди — 49, заставляет думать, что В. М. Гольдшmidt и А. Е. Ферсман были правы, утверждая о существовании халькозоны, — это штейн Делоне.

В настоящей статье рассматриваются только условия формирования Земли. В связи с разной плотностью планет и отсутствием на некоторых из них магнитного поля, можно сделать предположение, что они возникли в разное время и не по единой схеме, прежде всех, вероятно, возникла Земля. Луна, возможно, образовалась из алюмосиликатных материалов, не успевших присоединиться к Земле, которая в то время вышла из левого магнитного поля. Предположения о том, что солнце сокращается в объеме благодаря своему излучению, что планеты от него отдаляются, претерпевая общий цикл развития, что Земля в дальнейшем станет Марсом и т. п., не объясняются явлениями, наблюдаемыми на Земле, поэтому все это маловероятно. Ледниковые

периоды окончились и теперь наблюдается потепление Земли. Что же касается угасания Солнца, которое непрерывно теряет свою массу благодаря излучению, то на основании изучения минералов Земли мы этого утверждать не можем. В последующие геологические периоды образуются в термическом отношении такие же минералы, как и миллионы лет назад, отсюда можно сделать вывод, что солнце не только теряет свою массу, но и оно ее приобретает, питаясь за счет метеоритов и, вероятно, рассеянной плазмы, встречающейся на пути следования Солнца в космосе.

В заключение следует сказать, что великий русский ученый Вернадский оставил нам богатое наследие. Пополняя и развивая его идеи, нам легче познать природу вещей. Здесь следует напомнить его оптимистические высказывания.

Он писал (1): «В философской литературе довольно часто, а изредка и в научной, встречаются указания, что наука переживает кризис. Но в философской литературе же и обычно в научной есть другое представление о переживаемом моменте, как об эпохе не кризиса, но величайшего научного расцвета»... «Я думаю, что такое представление ближе отражает действительность, но оно не достаточно сильно. Мы переживаем не кризис, волнующий слабые души, а величайший перелом научной мысли человечества, совершающийся лишь раз в тысячелетие, переживаем научные достижения, равных которым не видели долгие поколения наших предков. Может быть нечто подобное было в эпоху зарождения эллинской научной мысли, за 600 лет до начала нашей эры. Стоя на этом переломе, охватывая взором раскрывающееся будущее — мы должны быть счастливы, что нам суждено это пережить, в создании такого будущего участвовать».

Наша Земля — твердое тело, состоящее из минералов. Условия ее формирования можно понять, только зная их генезис.

Недалеко то время, когда космонавты доставят нам вещественные продукты с других планет, и тогда минералоги смогут их изучить в помощь астрономам.

Только минералоги в содружестве с астрономами, физиками, геохимиками, геофизиками и математиками смогут создать правдоподобную теорию формирования Мира. В настоящее время этому обстоятельству уделяют большое внимание; так Д. П. Григорьев (7) пишет о космической минералогии, М. А. Садовский и Л. П. Зайцев о комплексной проблеме строения и развития Земли (18). Теперь создается новая космогоническая наука, которая будет обрабатывать и обобщать новые данные наблюдений космонавтов и записи космических кораблей и ракет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке. Изв. АН СССР, 1932.
2. Вернадский В. И. История минералов земной коры. Л., 1927.
3. Вернадский В. И. О правизне и левизне. Проблемы биогеохимии. АН СССР, 1940.

4. Уклонский А. С. Некоторые закономерности распространения химических элементов третьего периода в земной коре. ДАН УзССР, 1960, № 11.
5. Уклонский А. С. Изобары, изотопы устойчивых изотопов и их параэлементы. ДАН УзССР, 1959, № 11.
6. Уклонский А. С. Парагенезис минералов и параэлементы. ДАН УзССР, 1952, № 3.
7. Уклонский А. С. О перемещенных минералах. «Изв. АН УзССР», 1955, № 8.
8. Уклонский А. С. О химических элементах семейства железа. «Изв. АН УзССР», 1947, № 2.
9. Jean Wyart Synthèse du granit. Comptes rendus des Seances de l'Académie des Science. 1955. 1441 Paris.
10. J. J. Wyart et G. Sabatier — Transformation des sediments pelitiques, a 800°C sous pression d'eau de 1800 bars et granitisation. Bull. S. T. Minei—Krist Zhhyp, 1959.
11. Виноградов А. П. Химическая эволюция Земли. АН СССР, М., 1959.
12. Тихомиров В. В. К вопросу о развитии Земли и природе гранита. «Изв. АН СССР», сер. геол., 8, М., 1958.
13. Фесенков В. Г. Современное представление о вселенной. Изд. АН СССР, М.—Л., 1949.
14. Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли, третье издание АН СССР, М., 1957.
15. De Launay. La Science geologique. Paris. 1911.
16. Ферман А. Е. Химические элементы Земли и Космоса. НХТИ, Петербург, 1923.
17. Григорьев Д. П. Космическая минералогия—новая ветвь науки. «Вестник АН СССР», 1962, № 4.
18. Садовский М. А. Зайцев Л. П. Строение и развитие Земли как комплексная проблема. «Вестник АН СССР», 1962, № 11.
19. Джонс Г. С. Происхождение солнечной системы. Сборник «Физика и химия Земли». Изд. Иностранной литературы, М., 1958.
20. Arno Schuller. Die Etigenschaften der Minerale. Berlin. 1954.

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ ЗА 50 ЛЕТ СОВЕТСКОЙ ВЛАСТИ*

В дни, когда наша страна праздновала 50-летний юбилей Советской власти, были подведены итоги работы различных отраслей науки. В связи с этим хорошо вспомнить историю кафедры минералогии Ташкентского государственного университета.

В настоящее время считается, что существует семь видов состояния материи: 1) живое вещество — этим вопросом занимаются биологические науки; 2) твердое вещество — следует напомнить, что Земля представляет собой твердое тело. Изучением твердого вещества занимаются многие науки, в том числе геологические, физические и химические; 3) жидкое вещество; 4) газообразное; 5) плазматическое; 6) лучисто-радиоактивное; 7) антивещество или античастицы.

Минералогия занимается изучением твердого вещества. Минералы представляют собой чрезвычайно интересные естественно-

* Опубликовано в Тр. ТашГУ, вып. 337, 1968, с. 3—19.

исторические тела, которые до сих пор еще точно не изучены. Мы очень много знаем о минералах и их можно посмотреть в наших коллекциях, но тем не менее с каждым днем открываются все новые и новые их свойства. Так оказалось, что рубин, который раньше рассматривался только как драгоценный камень, находит широкое применение в лазерах.

Закономерное расположение атомов в пространстве, соединение их друг с другом создает минералы. При помощи рентгеноскопий многие кристаллические решетки минералов уже изучены. В Советском Союзе школа академика Н. В. Белова продвинулась далеко вперед в этой области. Сторонники этого направления создают кристаллохимические классификации минералов, помогающие им разобраться в кристаллических структурах минералов.

Но имеется в нашей науке и другое направление, которое мы проводим в Ташкенте. Это направление школы акад. В. И. Вернадского, к которой принадлежит и автор, — развивающее геохимическое предствление о минерале. Геохимическое направление помогает в поисках полезных ископаемых, т. к. многие минералы сами являются рудой на соответствующие элементы. Например, сернистая ртуть — киноварь — руда на ртуть.

Условия образования минералов представляют собой одну из интереснейших глав нашей науки, и чем бы геологи не занимались, все равно они подойдут к вопросу изучения минералов, т. к. все горные породы состоят из них. Только зная минералы земной коры и метеоритов, можно говорить о мироздании.

В нашей стране изучается не только сама Земля, но и космическое пространство. Наши космонавты, искусственные спутники, ракеты и межпланетные станции доставляют нам большую информацию о том, что делается за пределами Земли. И в этом деле без минералогии не обойтись. По сведениям, полученным с Венеры, известно, что температура поверхности ее равняется 280°. При этой температуре целый ряд земных минералов существовать не может, также как они не могут существовать при температуре плазмы Солнца. Таким образом мы можем говорить, что наши минералы должны быть приурочены к определенным планетам типа Земли. В настоящей статье мы не предполагаем нарисовать картину мироздания, а сообщаем лишь краткую историю развития наших представлений о минералогии Узбекистана.

В короткой статье нельзя написать историю развития науки, поэтому ограничимся лишь той стороной вопроса в истории развития минералогии и геохимии, которая связана с созданием геологических кафедр в САГУ, теперь ТашГУ и ТашПИ.

Минералогией и геохимией Узбекистана и Средней Азии занимались многие лица и организации: Академия наук СССР, соответствующие кафедры Московского университета, МГРИ, Ленинградского университета, Горного института, ВСЕГЕИ, ВИМС

и многие другие институты. В данной статье рассматриваются лишь работы ташкентских минералогов, которые менее известны и напечатаны в малораспространенных изданиях.

Теперь в Ташкенте имеются десятки организаций, в которых производится геологическая работа.

На какой же базе все это возникло?

На базе развития горной промышленности в Средней Азии. А между тем, до революции в Туркестанском крае горная промышленность была в эмбриональном состоянии.

Развитие человечества, начиная с каменного века, связано с использованием минерального сырья. В Средней Азии были и сохранились до сих пор древнейшие выработки, свидетельствующие о том, что здесь когда-то была высокая культура. Все это было известно очень давно и поэтому такие выдающиеся ученые Средней Азии как Абу Райхон Беруни (973—1048) и Абу Али Ибн-Сина (Авиценна) (980—1037) сделали в свое время сводки по геологии и минералогии Средней Азии на основании имевшегося в то время огромного фактического материала. Эти работы стали достоянием Запада и оттуда уже проникли в Россию. Поэтому еще со времен Петра I у правящих кругов России было представление о том, что Средняя Азия богата драгоценными металлами и камнями. Те же сведения о полезных ископаемых этой обширной страны, что Средняя Азия чрезвычайно бедна полезными ископаемыми, стали поступать от местных жителей непосредственно перед приходом сюда русских и были совершенно противоположными. Это основывалось на имевшихся в то время сведениях, но не на реальной действительности.

В XVIII—XIX веках горный промысел Средней Азии пришел в полный упадок — старые горные выработки были заброшены и многие из них завалены. Для того, чтобы горная промышленность возродилась, потребовалась огромная по масштабу геологическая работа, а до этого — идеологическая борьба по вопросу: «бесплодна ли Средняя Азия в отношении полезных ископаемых или же недра таят в себе неисчислимые богатства?». В конце XIX века, после неудачной попытки найти крупные месторождения полезных ископаемых в Туркестане, пришли к выводу, что здешние горы также бесплодны, как и Альпы. Поездка М. Лева в Туркестан еще больше укрепила это неправильное убеждение. Создание геологических кафедр в Туркестанском государственном университете было первым шагом в той борьбе, которая возникла по этому вопросу.

До революции в Ташкенте существовал ряд научных обществ, были музеи и библиотеки; устраивались периодические сельскохозяйственные выставки, где были представлены не только сельское хозяйство, но и техника и культура, демонстрировались полезные ископаемые, список которых был очень ограниченным.

Хотя перед революцией по изучению геологии Туркестана и была проведена большая работа Геологическим Комитетом и Ака-

демпией Наук, но она не сопровождалась планомерными разведочными работами, так как не было в то время соответствующей государственной организации. Этим делом занимались отдельные частные предприниматели, не обладавшие достаточным оборотным капиталом, поэтому многие их попытки не увенчались успехом и, главным образом, из-за бездорожья. Работники Геологического Комитета вели планомерную геологическую съемку, а минералогии и геохимии уделяли мало внимания. Лишь в Академии Наук академик В. И. Вернадский и его сотрудники работали в этом направлении, и сотрудники минералогических кафедр Московского и Петербургского университетов, Петербургского Горного и Политехнического институтов. В то время К. Н. Ненадкевич открыл ряд новых минералов в Тюямууне, а П. К. Алексат — шеелит. В 1914 году в Ферганской экспедиции под руководством А. А. Чернова работали С. П. Александров, А. С. Уклонский, Д. И. Щербаков и др., которые в дальнейшем продолжали работать по изучению Средней Азии, а в 1916 году совместно с автором начал работать и Н. А. Смольянинов от Института Литогейя, а в дальнейшем этот институт был преобразован в Институт прикладной минералогии и далее в ВИМС.

На окраине России, в Туркестане, возникла новая Советская Туркестанская Республика. В столице, Ташкенте, с его революционным прошлым, был создан Народный университет. Надо было сделать так, чтобы в Азии — на границе Китая, Индии, Афганистана, Ирана, загорелся маяк просвещения. Нужно было создать настоящий университет, где могли бы учиться не только русские, но и представители местных национальностей и сопредельных стран. Учиться в университете — это не значит только слушать лекции, студенты должны принимать участие и в научной работе. Следовательно, преподаватели университета должны быть не только лекторами, как бы они красочно не читали свои лекции, но и учеными, владеющими методами научно-исследовательской работы. Тогда эти ученые смогут создать на новом месте лаборатории, без которых немислим университет. Наука без ученых, сама по себе, не может развиваться. Недостаточно одних местных энтузиастов, организовавших Народный Университет, необходимо еще пополнение кадровыми вузовскими работниками. Для этого требовалось решение Правительства о создании Государственного университета в Ташкенте.

В. И. Ленин подписал такой декрет в сентябре 1920 года. На основании этого государственного акта была не только санкционирована организация Государственного университета в Ташкенте, но и осуществлен перевод из центра профессорско-преподавательского состава, завезено оборудование, библиотеки, отведены помещения для учебного процесса, предоставлена жилая площадь для преподавателей и передан весь университет в ведение центральных организаций.

Комитет по заведыванию учеными и учебными учреждениями ЦИК Союза ССР стал утверждать профессоров и преподавателей университета, что значительно подняло его авторитет.

В 1920 году были организованы геологические кафедры: горного искусства — М. М. Протодяконовым, общей геологии — В. Т. Мухиным, исторической геологии — З. Ф. Гориздро-Кульчицкой, петрографии — С. Ф. Машковцевым, кристаллографии — А. М. Кульчицким и минералогии под руководством А. С. Уклонского. В деле организации кафедры нам много содействовали наши учителя и товарищи по работе. Среди них следует отметить академиков — В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, В. Г. Хлопина, Д. И. Щербакова, А. Г. Бетехтина, профессоров — Н. А. Смольянинова, А. К. Болдырева, В. И. Крыжановского, К. К. Матвеева, Б. Н. Кротова, С. М. Курбатова, М. Л. Миропольского, Д. П. Григорьева, И. И. Чупилина и многие другие ученые.

Наша задача заключалась в создании квалифицированных кадров, а их можно было подготовить только при наличии оборудованных лабораторий, музея, библиотеки. Все это требовало постоянного большого напряженного труда.

Первым нашим помощником был Н. К. Бетгер, безвременно умерший в 1922 г. Он был первооткрывателем мышьякового месторождения в Брич-Мулле. После его смерти месторождение было утрачено и затем вновь открыто другим нашим учеником — И. М. Евфименко.

Вторым помощником была Ю. М. Голубкова — доцент ТашГУ. Она много содействовала открытию и изучению многих месторождений и организовала радиометрические лаборатории.

Третьим помощником и учеником был С. В. Культиасов, открывший повеллит в Лянгаре и многое другое.

Не останавливаясь на работе остальных ранних моих учеников перейдем к рассмотрению основных минералого-геохимических работ других научных организаций в Узбекистане и в Средней Азии.

В начале двадцатых годов С. А. Александров от «Редэлема» Московского института редких элементов организовал в Тюямуюне рудник и лабораторию. В 1924 году сюда приехал академик А. Е. Ферсман с группой минералогов и геохимиков: С. П. Александровым, Б. К. Бруновским, А. П. Кириковым, В. И. Крыжановским, А. А. Мамуровским, А. С. Уклонским, Н. М. Федоровским и Д. И. Щербаковым.

Этот первый приезд А. Е. Ферсмана сыграл огромную роль в деле изучения минералогии и геохимии Средней Азии. С этого времени здесь начались планомерные исследования с вовлечением огромного числа геологов разных профилей. Было открыто много новых месторождений полезных ископаемых. Начались их систематические разведки. В лабораториях Москвы, Ленинграда и других городов, в том числе и в Ташкенте, начались исследования минералов и руд. Вот тогда и были открыты новые минералы —

узбекит, тангенит и др. В этой научной школе имели возможность квалифицироваться все мы, работающие в Средней Азии, и наши студенты. В результате было написано очень много работ, среди которых десятки кандидатских и докторских диссертаций.

Следует отметить, что в САГУ с докладами приезжали ученые, в том числе А. Е. Ферсман, Д. И. Мушкетов и другие. Для чтения курсов в САГУ были привлечены профессора; так по кристаллографии А. К. Болдырев, затем В. В. Доливо-Добровольский, по геологии — Д. В. Наливкин и др. В 1927 году Геологический Комитет в Карамазар направил Б. Н. Наследова.

В 1926/27 г. В. Г. Мухиным, М. М. Протождяконовым, А. С. Уклонским и Н. В. Шабаровым было организовано Среднеазиатское отделение Геологического Комитета, в котором активное участие приняли студенты геологических специальностей САГУ.

В 1928 году мы организовали Третий Всесоюзный съезд геологов, на котором была решена, в положительном смысле, судьба геологии Средней Азии. После съезда стали отпускаться большие средства на геологические работы. С тех пор успехи геологии росли с каждым годом.

В 1930 году геологические кафедры САГУ были выделены в самостоятельный институт САГРИ, а после преобразования — в Горный факультет САИИ и далее в Геологоразведочный факультет СазПИ и вновь созданы на геологическом факультете САГУ.

В 1934 году в Комитете наук УзССР, после в УзФАН и, наконец, с 1943 года в Академии наук УзССР в Геологическом институте, в отделе минералогии и геохимии были организованы лаборатории под моим руководством, т. к. был избран академиком АН УзССР.

Прежде чем перейти к рассмотрению наших работ надо сказать несколько общих вводных слов.

Человек хочет покорить природу. Атомная энергия уже начала служить на пользу человечества. Недалеко то время, когда начнут искусственно готовить нужные редкие элементы и драгоценные металлы и минералы. Однако, естественный минерал таит в себе много интересного и нового. Он долго еще будет играть большую роль в народном хозяйстве.

Без понимания минерала нельзя решить многие геологические вопросы частного и общего характера, например: процессы образования и развития Земли, рудообразование и многое другое.

Мой учитель В. И. Вернадский ставил так вопрос: чем нам надо заниматься? — системой минералогии, или историей минералов земной коры? И решал, что надо заниматься историей минералов, а воду он рассматривал как минерал. Вот поэтому я и занялся водой.

В связи с запросами жизни в первые годы нашей работы в Ташкенте пришлось уделить много внимания исследованию воды для водохозяйственных организаций; для этой цели были мобилизованы все наши геологи.

В результате этих работ мной была разработана геохимическая классификация воды и дана геохимическая характеристика вод Туркестана. В ней были развиты идеи Пальмера. Все это было напечатано в издании Водхоза.

Прежде чем говорить на эту тему, необходимо сказать несколько слов о нашей дальнейшей работе по геохимии воды. Уже в самое последнее время, но еще при жизни В. И. Вернадского, мы освоили в его лаборатории метод исследования суммарного изотопного состава воды. Работы в этой области мы сумели организовать в нашей Академии наук только в пятидесятых годах. В настоящее время в этой области успешно работают В. М. Глущенко и Л. П. Крайнова, накопившие большой фактический материал.

В связи с изучением геохимии воды мы разработали парагенезис серы и нефти.

Существуют две точки зрения на образование самородной серы. Одна — сингенетическая, увязывающая формирование месторождений самородной серы с биологическим процессом, а другая — эпигенетическая, объясняющая этот процесс восстановлением сульфата углеродом.

На основании многолетних изучений месторождений серы и геохимии воды автор пришел к заключению, что сингенетическая теория не подтверждается на практике, а эпигенетическая — полностью оправдывается.

Сущность разработанной теории образования самородной серы заключается в следующем. Нефть и нефтяные газы, мигрируя из более глубоких горизонтов в верхние, воздействуют на воду, содержащую сульфатный ион. В результате образуются сероводород и уголекислота. В дальнейшем сероводород, попадая в окислительную среду, окисляется до самородной серы. Последняя, в свою очередь, может окисляться до серной кислоты, образуя новые сульфаты — квасцы и купоросы.

Таким образом, сера является шляпкой нефтяного месторождения, а квасцы — серного. Там, где много серы, там мало нефти, там, где много нефти, мало серы, так как в восстановительной среде сероводород не окисляется до серы, что и наблюдается на Апшеронском полуострове. Поэтому там, где много нефти и газа, там мало серы. Следует отметить, что этот процесс сопровождается азотными и сероводородными струями, которые имеют большое практическое значение.

Сопровождающие нефть воды метаморфизируются, и на контакте их с пластовыми и трещинными подземными водами происходит образование новых парагенетических минералов, например, целестина и др., весьма характерных для всего этого процесса.

В дальнейшем как сама нефть или углеводородные газы, так и сера, сопровождающие ее минералы и квасцовая шляпка — все это метаморфизируется с образованием более новых минералов, эпигенетических по отношению к вмещающим породам.

Кроме того, происходит изотопный обмен между более тяжелым водородом нефти и газов и сопровождающими их водами, которые становятся более тяжелыми.

На основании изучения парагенных минералов серы и нефти и изотопного состава воды можно сделать прогноз о нефтеносности отдельных геологических регионов, что и подтверждается практикой.

Еще в первые годы работы по изучению парагенезиса серы и нефти С. Е. Прянишниковым, М. Н. Слюсаревой, Я. К. Писарчик и М. П. Вакуленко под нашим руководством было разведано серное месторождение Шорсу и открыт ряд серных месторождений в Ферганской долине, в аналогичных условиях. В самое последнее время Н. П. Долгополов в тех же условиях открыл новое крупное месторождение серы в районе Санто.

Еще в 1929 году нами был дан прогноз Гаждинского (Газли) месторождения серы и нефти, которое явилось шляпой газового и нефтяного месторождения (см. монографию «Парагенезис серы и нефти», с. 122, за № 263, месторождения Гажды).

Таким образом, наша гипотеза была подтверждена фактом, имеющим большое практическое значение, в связи с чем она превращается в теорию парагенетической связи нефти и сопутствующих ей минералов. Это открывает широкие перспективы по поискам новых месторождений нефти и газа в Советском Союзе. Сорокалетний опыт убеждает нас в том, что наши прогнозы минимальны. Поиски нефти должны сопровождаться не только геофизическими работами, но и минералого-геохимическими, тогда они принесут большой успех в решении этой проблемы.

Рассматривая месторождения нефти и газа в свете нашей гипотезы образования Земли, надо отметить, что первая нефть образовалась еще до наших геологических периодов, в то время, когда появилась первая вода на Земле, в которой поселились первые водоросли. Все это было погребено под космической пылью, в дальнейшем превращенной в изверженные породы. В течение длительного периода существования Земли нефть, нефтяной газ, сероводород и углекислота и азот все время мигрировали в верхние оболочки Земли.

Другое направление в нашей работе было изучение твердого вещества. На основании теоретических выводов и экспериментальных данных нами разработаны ряд новых научных положений и изобретены приборы, а также предложены новые методы исследования минерального вещества и дана новая классификация минералов.

Развивая геохимическое направление, в отличие от существовавших ранее, нами предложена классификация минералов по ведущему химическому элементу. В основу ее положено новое представление о минерале, как о твердом продукте химических реакций в земной коре.

Таким образом, определяющим здесь является само вещество,

а не форма. Автор классифицирует минералы по ведущему химическому элементу, учитывая геохимическую значимость каждого элемента в минерале.

При учете общей геологической обстановки региона и всех минералов месторождения можно восстановить условия формирования месторождений полезных ископаемых. В данном случае следует иметь в виду, что минералы, как станции на пути движения химических элементов в земной коре, запечатлевают в себе этапы процесса. На минералы следует смотреть так же, как и на палеонтологические ископаемые. Одни из них могут быть аналогами руководящих форм, а другие имеют иные функции.

В область изучения минералогии и геохимии Средней Азии большой вклад внесли выдающиеся ученые — академики В. И. Вернадский и особенно А. Е. Ферсман, который фактически руководил огромными по масштабу работами, проводимыми здесь Академией наук СССР. Эти работы в разное время носили особые названия, наиболее известной среди них была ТПЭ — Таджикско-Памирская экспедиция. Работа этой экспедиции охватывала всю Среднюю Азию и Южный Казахстан. Ежегодные посещения Ташкента А. Е. Ферсмана, Д. И. Щербакова и других выдающихся ученых оказали большое влияние на направление наших исследований.

Первоначально они концентрировались вокруг проблемы серы, цементного сырья, огнеупоров, строительного материала и в меньшей степени — изучения рудной минералогии. В этих изысканиях активное участие принимали: Ю. М. Голубкова, С. В. Культиясов, П. В. Цыбышев, В. П. Соколов, И. Д. Чумаков, В. И. Попов, В. Э. Поярков, В. М. Бирюков, И. М. Евфименко, Ю. В. Шестаков, Ф. П. Полкопин (разные полезные ископаемые), С. Е. Приишников, М. Н. Слюсарева, Ю. М. Коршунова, М. В. Рогова-Горбова, Ю. Л. Винокурова, Я. К. Писарчик, Л. Ф. Казакова, А. А. Фрайбергер (убит на войне), О. К. Шепель, О. А. Линчевская, М. П. Вакуленко (сера). Это относится к раннему периоду деятельности данных товарищей, позже они стали вести исследования самостоятельно и некоторые из них отошли от минералогии и даже геохимии. Работа носила общий характер, без особого углубления в изучении самого вещества.

Во время одной из бесед перед войной, в 1940 году, А. Е. Ферсман предложил уделить большое внимание углубленному изучению минералов. К этому времени в Ташкенте удалось организовать ряд лабораторий, где можно было производить спектральные, рентгеновские, термические и другие исследования минералов.

Была разрешена аспирантура по минералогии и представлено право защиты диссертаций сначала в САГУ, после дополнительно в СазПИ и в Геологическом институте АН УзССР. Тематика кандидатских диссертаций по минералогии показывает новое направление наших работ.

Центр тяжести наших исследований перешел на изучение минералогии рудных месторождений. Большой коллектив минералогов под моим руководством приступил к изучению рудных полей.

Было выявлено и описано более 700 минералов. В настоящее время подготовлена к печати сводка по результатам этих исследований. Прежде чем говорить о работе наших минералогов необходимо напомнить об основных работах автора.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

В минералогии существует несколько направлений научной мысли, что находит свое отражение в различных классификациях минералов. Одно из них — химическое, автором которой является американский ученый Джеймс Дейна, классифицировавший минералы по типу химических соединений. Другое направление — кристаллографическое. Минералы классифицируются по кристаллическим системам, как например у П. Ниггли. В настоящее время это направление получило уклон кристаллохимический. Здесь основное внимание уделено форме вещества, его пространственной решетке, а не самому веществу.

Теперь предложены кристаллохимические классификации минералов. В работах академика Н. В. Белова приведено много новых кристаллохимических структур, а в руководствах Г. Штрунца, У. Брегга и Г. Кларинбулла, А. С. Поваренных приведены новые кристаллохимические классификации минералов.

Такая систематика минералов весьма полезна для диагностики редких минералов, но она не помогает геологу в поисковом и разведочном деле. А при использовании таких классификаций геохимик отходит от понимания миграции вещества и тех процессов, которые образуют месторождения полезных ископаемых.

Развивая геохимическое направление, в отличие от существовавших ранее, нами предложена классификация по ведущему химическому элементу. В основу ее положено новое представление о минерале, как о твердом продукте химических реакций в земной коре.

Таким образом, определяющим здесь является само вещество, а не форма. Автор классифицирует минералы по ведущему химическому элементу, учитывая геохимическую значимость каждого элемента в минерале. Внутри каждого класса минерал располагается по типу химического соединения с учетом пространственных решеток. Эта классификация позволяет предсказывать новые минералы, корректировать их физические свойства и дает возможность легче разобраться в генезисе месторождений полезных ископаемых. Настоящая классификация принята у среднеазиатских геологов и ряда других. Эта классификация изложена в моем учебнике минералогии, напечатанном еще в 1940 году, в 1949 г. переведенном на армянский язык.

В связи с разработкой геохимической классификации минералов и выявленном геохимическом значении отдельных элементов в минералах мной выделены особые группы химических элементов.

ПАРАЭЛЕМЕНТЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Прежде считалось, что любые химические элементы, соединяясь друг с другом, могут образовывать минералы. Это положение не соответствует действительности, так как элементы обладают избирательной способностью к соединению в пространственные решетки. Ряд химических элементов в природных условиях вообще не соединяются друг с другом и не могут образовывать минералы. Те же из них, которые совместно входят в единые пространственные решетки кристаллов минералов и при этом наблюдается ближайший или интимный их парагенез, автор назвал параэлементами. Это понятие впервые вводится в науку.

Те элементы, которые входят в протокристаллы реальных кристаллов, являются параэлементами, а те, которые присутствуют в минералах, но находятся в промежутках между протокристаллами и не входят в пространственную решетку, следует считать олигоэлементами, как их называют иностранные авторы, или же гетеро или ксеноэлементами.

Например, хлор присутствует в кварце, но он не входит в решетку с кремнием и кислородом, следовательно, для данного случая не является параэлементом, но в содалите и скаполите он уже является параэлементом.

Наибольшее количество параэлементов имеет железо — 63, наименьшее — радий — 7 (если все редкие земли, кроме церия, принять за единицу). Например, магний не входит в пространственные решетки минералов золота и серебра. Не все члены так называемого семейства железа являются параэлементами друг друга, так как титан, ванадий и кобальт не входят в единые решетки минералов, титан не является параэлементом никеля.

Не все изоморфные ряды В. И. Вернадского представлены параэлементами, как например, можно привести третий ряд изоморфных рядов — бром, йод, хлор, фтор. Здесь параэлементом фтора является только хлор.

Сопоставляя и сравнивая параэлементы того или иного рудного района, можно установить их взаимную связь и обнаружить пропущенные элементы и минералы.

Для всех химических элементов автор составил таблицы. Составлены таблицы по отдельным регионам и рудным месторождениям.

В Ташкенте 14 июня 1947 г. на сессии АН УзССР мной был сделан доклад на тему: «Химические элементы семейства железа». В этом докладе были повторены прежние высказывания по данному поводу о причинах высоких температур Земли (Известия АН УзССР, 1947, № 2). Я уже давно стою на позиции, что Земля и Солнце — разного генезиса, что внутреннее тепло Земли не солнечного происхождения.

Нагревание Земли происходит не только от радиоактивного распада, но и от взрывов в связи с ядерными реакциями. Не пассивная магма выдавливается активными горными породами по подготовленным в них трещинам, а взрывы, обязанные внутриатомному распаду, расплавляют холодные горные породы и таким образом образуют магматические очаги, которые совершают работу подъема и разрыва земной коры. Для этих реакций необходимо накопление какого-то критического количества вещества, тогда наступает новое действие в виде импульсов в земной коре.

Как у нас, так и за рубежом, нет единого представления о рудообразовании. Среди геологов доминирует точка зрения непосредственной связи оруденения с конкретными интрузивными породами, благодаря чему ограничивается глубина оруденения и площадь его распространения. С другой стороны, ряд геологов подтверждает точку зрения А. Е. Ферсмана о том, что дуги или пояса, содержащие определенный тип оруденения, протягиваются на сотни километров. При последнем решении вопроса связь с конкретными интрузиями отпадает. Тогда нужно искать очаги оруденения на больших глубинах в связи с теми магмами, которые принимали участие в больших региональных перемещениях земной коры. Магма, выделив жидкую и газовую фазы, превращается в горные породы. Вверх от нее, по трещинам и разломам, уходят плавни, т. е. наши руды. Пока они не уйдут из магмы, она не может превратиться в горную породу. В магме же остаются не только литофильные элементы, но и сидерофильные и часть халькофильных, так как полное отделение жидкой и газовой фаз и уход с ними всех халькофилов вряд ли возможны. Концентрация рудного вещества происходит не в магме, а в горной породе, в последующее время, от воздействия воды и газов.

Растворы, насыщенные газами, под очень сильным давлением, прорываются вверх на большие расстояния, где по пути расслаиваются и отлагают минеральные вещества в разных полосах, вступая в обменные реакции с окружающими породами. Кроме собственного оруденения, выделившегося в крупных полосах, имеется еще рассеянное оруденение в гидротермально измененных породах.

При последующем переносе вещества в пределах рудного контура получают богатые и бедные рудные месторождения.

ПЕРЕМЕЩЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

Многую выделена особая категория минералов, названных перемещенными минералами. В геологии утвердилось мнение, что главнейшую роль в процессах минералообразования играет сингенезис, а эпигенезис лишь второстепенную. При внимательном изучении этого вопроса оказывается, что эпигенезис играет очень большую роль.

За многовековую историю Земли нет ни одной точки на ее поверхности, которая бы со времени возникновения Земли до наших дней не заливалась бы морем. И, следовательно, морская вода пропитывала все горные породы.

Отдельные части суши многократно поднимались и опускались. Рудное месторождение, образованное 300 миллионов лет тому назад, так же как изверженная горная порода или осадочная, в которых оно было заключено, за это время многократно поднималось и опускалось на километры, при этом оно, то смачивалось водой, то осушалось, минералы то растворялись, то выпадали. Убогая рассеянная руда могла скапливаться в богатые штоки и создавать уникальные месторождения, образованные не пульсационными явлениями, происшедшими 300 миллионов лет тому назад, а в течение последнего миллиона лет, т. е. при антропогене.

При учете общей геологической обстановки региона и всех минералов месторождения можно восстановить условия формирования месторождений полезных ископаемых. В данном случае следует иметь в виду, что минералы, как станции на пути движения химических элементов в земной коре, запечатлевают в себе этапы процесса. Минералы следует рассматривать так же, как и палеонтологические ископаемые. Одни из них могут быть аналогами руководящих форм, а другие иметь иные функции.

Перемещенные минералы могут быть следующих типов:

1. Минералы, содержащие необычные сочетания элементов; так силикаты — тяжелые металлы.

2. Алюмосиликаты и силикаты с электроотрицательными ионами.

3. Смешанный тип соединения — силикат, карбонат, сульфат; например, таумасит.

4. Необычные водные силикаты.

5. Минералы, содержащие разной валентности ионы. Присутствие в месторождении минералов, содержащих один и тот же элемент разной валентности, например, As в арсенопирите и аурипигменте. Присутствие в месторождении многих разновидностей и полиморфных разновидностей минералов, например, сфалерит, клейофан, марматит; сфалерит и вюрцит.

6. Присутствие в месторождениях многих генераций одного и того же минерала.

7. Присутствие хорошо образованных кристаллов минералов и кристаллов-гигантов, в особенности, минералов, обладающих идеальной спайностью.

8. Собственно переотложенные минералы, например, поваренная соль и др.

В связи с работами по изотопам в самое последнее время мной установлены новые виды парагенезиса химических элементов.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА ОБРАЗОВАНИЯ ЗЕМЛИ (ПО АВТОРУ)

Эта гипотеза является одним из вариантов метеоритной гипотезы, иначе говоря, гипотезой холодного образования Земли. В основу ее положено то представление, что для образования Земли из метеоритов и метеоритной пыли требуется какой-то центр, вокруг которого начинает концентрироваться космическое вещество. Без такого центра невозможно образование планеты.

Таким центром, по мнению автора, являются железные метеориты, обладающие ферромагнитными свойствами. По В. И. Вернадскому, Земля проходила разные космические поля: гравитационные, магнитные и другие — правые и левые. Автор считает, что если железные метеориты летят в космосе, то вряд ли они могут соединиться в компактную массу, но если на них будет действовать правое магнитное поле, в которое когда-то попала солнечная система, то тогда усилятся ферромагнитные свойства железа, и они начнут подтягиваться друг к другу. Так получится первоначальное ядро Земли. Когда это ядро возрастет, то к нему начнут присоединяться ортосиликаты железа — оливиновые и пироксеновые метеориты. Так образуется «Сима» или, как теперь говорят, мантия. После того, как солнечная система вышла из правого магнитного поля, то к нему стали подтягиваться метеориты не только этого типа, но и другого и, в частности, метеоритная пыль алюмосиликатного состава.

Следовательно, не путем дифференциации магм, а вследствие разного состава метеоритной пыли образуется зональность Земли: нифе, и сиаля. Земля в своем объеме все время растет, а не сжимается. Благодаря радиоактивному распаду и ядерным взрывам, а также давлению, Земля прогревается, в результате чего происходят тектонические процессы с вытекающими отсюда последствиями.

Таким образом происходит не замирание Земли, а ее развитие.

Коллективом Ташкентских минералогов выявлены и описаны следующие новые минералы и их разновидности.

Н. Т. Уклонская, изучая минералы из серного месторождения Шорсу, обратила внимание на асбестоподобный минерал, оказавшийся волокнистыми квасцами, состоящими из ряда квасцовых

молекул: пиккерингитовой, галотрихитовой, билинитовой и тамаругитовой молекул с преобладанием пиккерингитовых и галотрихитовых молекул. Минерал назван шорсуитом.

Описана новая разновидность минерала той же группы квасцов из серной шляпы Шорсу — магнезиальный калинит; описан супергенный магнетит из Туранглы, включенный в сводку Ф. В. Чухрова («Коллоиды в земной коре», 1955 г.).

Для выявления характера квасцовых минералов Н. Т. Уклонская приступила к их синтезу. Ею был синтезирован обычный шорсуит и калиевый шорсуит. Таким образом, была установлена группа шорсуитов. Считать, что шорсуит является галотрихитом, нет оснований.

Нашими бывшими аспирантами Е. А. Коньковой и В. Ф. Савельевым, а также Х. Н. Карповой и Э. Д. Ларкиным описан новый очень интересный таллиевый минерал авиценнит из шляпы рудного месторождения в районе Зирабулак. Подобное соединение таллия ранее не было известно в природе.

Новый минерал из группы сложных силикатов типа таумасита — бирунит, в Алмалыкском рудном поле был открыт и описан С. Т. Бадаловым и И. М. Головановым.

Кроме того, С. Т. Бадаловым установлены и описаны следующие разновидности минералов: цинковый змеевик, бериллиевый аллофан, медный алунит, ванадиевый гроссуляр, ванадиевый турмалин, ванадиевый апатит (включены в сводку Винчелла на русском языке).

В Алтынтопканском рудном поле М. Р. Еникеев нашел и описал новый минерал наследовит — водный основной сульфат-карбонат свинца, марганца, алюминия и магния из группы дундазита. Им же описаны следующие новые разновидности минералов: натровый апофиллит, магнезиальный фиброферрит, литиевый гидробитит с Чаткала, свинцово-калиевый ярозит, железистый фенгит, нитрокальцит, марганец-сепиолит из Алтын-Топкана.

М. Н. Слюсаревой среди соленосных отложений был открыт минерал простого состава, названный ею уклонковитом, представляющий основной водный сульфат натрия и магния. Этот минерал детально исследован группой академика Н. В. Белова.

М. А. Сахарова открыла новый минерал устарасит.

Кроме того, французы описали новый минерал везиньит.

М. И. Моисеевой в Алмалыке установлена своеобразная мягкая бирюза. Впервые в Средней Азии она описала самплеит, элит, полугидрат сульфата натрия (Алмалык), шорломит из Кургашинокана, медную смоляную руду с высоким содержанием цинка и свинца (Курусай) и другие минералы.

На Кансайском рудном поле З. М. Протодьяконова нашла и описала удивительные по своим размерам и красоте своеобразные и очень интересные выделения гидросиликатов кальция и магния, образующие бескварцовые прожилки в скарированных известняках и изверженных породах, состоящие из ксонотлита, апо-

филлита, тоберморита, стивенсита и таумасита с кальцитовыми зальбандами. При этом наблюдаются очень редкие в природе псевдоморфозы стивенсита по ксонотлиту. Кансайский тоберморит представляет собой волокнистую и радиально-лучистую его разновидности. Исследование продолжается и, может быть, последний минерал нужно будет отнести к новой разновидности или к новому виду.

Мы полагаем, что весь этот комплекс редких минералов относится к категории перемещенных минералов, сопровождающих оруденение и ведущий к руде.

Здесь следует отметить некоторых наших учеников, работающих весьма успешно в области изучения минералогии как отдельных месторождений, так и целых регионов и отдельных минералов, а также по геохимии.

По парагенезису серы и нефти работают: доктор г.-м. н. М. П. Баскаков, кандидаты наук и ст. научные сотрудники — М. П. Вакуленко, Ю. Л. Винокурова, Б. Н. Горбачева, М. Г. Гаврилюк, Ю. М. Коршунова, Е. Г. Осипова, Е. Отакузиев, Н. П. Петров, В. С. Попов, М. С. Попова, М. Н. Слюсарева, С. К. Смирнова, Г. И. Тесленко, Г. Филатова, Н. Т. Уклонская.

По рудным месторождениям доктора наук: С. Т. Бадалов, В. П. Федорчук, кандидаты наук и ст. научные сотрудники — Е. Ф. Багрова, Р. П. Бадалова, С. А. Бакиева, И. М. Голованов, Гольдштейн, Р. Л. Дунин-Барковский, Э. А. Дунин-Барковская, М. Р. Еникеев, И. Заревич, С. И. Ибадуллаев, М. И. Исмаилов, А. К. Касымов, О. Н. Козлова, Е. А. Конькова, Н. Н. Королева, К. М. Кромская, А. М. Кулиев, Е. С. Либензон, Х. Мамедов, Э. А. Маркова, М. И. Моисеева, Т. И. Навикова, Э. П. Николаева, В. Д. Отрощенко, Г. С. Петросянц, З. М. Протодьяконова, В. Ф. Савельев, Т. С. Тимофеева, Г. П. Филатова-Чеботарева, Г. М. Чеботарев, В. Б. Шувалов, Е. Я. Орловский, С. Р. Рузматов, С. Аширматов.

По геохимии воды: кандидаты наук В. М. Глущенко и Л. П. Крайнова.

Следует отметить, что, кроме перечисленных минералов в Узбекистане и в Средней Азии в последние годы найдено и описано очень много новых и интересных минералов.

В последнее время здесь открыты следующие минералы: сперилит, куперит, самородная платина, порпечит, потарит, ферроселит, гамма-самородный селен, гуанахуатит, парагуанахуатит, берцелианит, тиманнит, жозецит, петцит, гессит, алтаит, вейссит, вольтонит, креннерит, калаверит, датолит, дискразит, селлаит, золото.

Общее количество минеральных видов по Средней Азии в настоящее время более 700, из них детально описаны около 400. Что же касается химических элементов, то в Узбекистане и в Средней Азии известна почти вся периодическая система Менделеева. Практическая значимость химических элементов различна.

Одной из основных задач является уточнение этого вопроса. Будем надеяться, что он решится положительно в ближайшие годы.

В заключение следует сказать, что еще в 1875 г. И. В. Мушкетов опубликовал свой первый список минералов Туркестана, в котором значилось 57 минералов и их разновидностей, включая каменный уголь и нефть. В дальнейших его работах список был увеличен до 93. Причем, этот выдающийся ученый писал, что среди отмеченных минералов чрезвычайно редко попадаются «распознаваемые кристаллы», а в большинстве же случаев они представлены примазками и бесформенными массами.

Такое положение с минералами здесь продолжалось очень долгое время, пока после Великой Октябрьской революции не изменилась вся экономика и культура страны.

Теперь Узбекистан и Средняя Азия славятся своими чудесными кристаллами серы, самородного серебра и меди, киновари, антимонита, напоминающего знаменитые кристаллы из Шикоку. Известны кристаллы пирита из Кансая и других мест по 10 см в ребре; чудесные сростки кристаллов арагонита из Шорсу, Кадамджая, Абаила и других мест; длиноволокнистый асбест Памира; кристаллы сподумена (до 4 метров) в Туркестанском хребте; не менее гигантские кристаллы горного хрусталя из Пскема; друзы гипса из Гаурдака; пойкилитические гипсы из Репетека, пойкилитические сростки кристаллов целестина, напоминающие клубки ниток из Кызылкумов; воднопрозрачные дюмортьериты Акташа; цветные камни из Бадахшана и нежно-голубая бирюза; прекрасные карлсбадские двойники из Кураминских гор и многое другое.

В этой статье трудно перечислить все красоты минералов Средней Азии, отметим лишь, что гамма их велика — от самородной серы и самородного серебра из россыпей Дарваза до осмистого иридия из Тянь-Шаня и массы ярких минералов, содержащих редкие элементы.

Нельзя не подчеркнуть своеобразие минерального царства Средней Азии. Кроме перечисленного, надо отметить находки в конце двадцатых годов Н. П. Петровым, В. П. Соколовым и другими мощных витеритовых жил в Копет-Даге. До этого витерит считался редким минералом и никто не предполагал, что он может образовать самостоятельное месторождение.

Все это говорит о том, что в Средней Азии непочатый край для минералого-геохимических исследований.

Коллектив ташкентских минералогов приступил к составлению сводки по минералогии Узбекистана и Средней Азии и при этом столкнулся с большими трудностями. Изучение минералов на современном уровне здесь началось сравнительно недавно, а в большинстве опубликованных и фондовых материалов имеются разнородные данные. Иногда о минерале только упоминается, причем в таких условиях, что существование его вызывает сомнение,

приводится много химических анализов недостаточно хорошо отобранных материалов.

С другой стороны, мы наблюдаем исключительный рост наших сведений о минералах. Можно говорить о том, что не только ежегодно выявляются особенности уже известных месторождений и открываются новые в них минералы, находятя новые месторождения — это происходит буквально каждый месяц.

Все это вполне естественно, так как армия исследователей увеличивается, число лабораторий растет, методы исследований развиваются и возникают новые, позволяющие углубляться в изучение минерального вещества.

С 1920 года здесь начали организовывать кафедру минералогии. В настоящее время она имеет современное оборудование.

Начиная с первых дней нашей работы здесь мы организовали коллектив энтузиастов, который приступил к созданию минералогических музеев. Первый музей был организован в 1920 г. при кафедре минералогии Туркестанского Госуниверситета. Он быстро пополнялся местными минералами, полученными из Москвы и Ленинграда. Нам очень много помогали Н. А. Смольянинов и В. И. Крыжановский. Здесь следует отметить подарок от Я. В. Самойлова — коллекцию фосфоритов. В 1930 году этот музей был передан в САГРИ, после в Политехнический институт. В нем имеется прекрасная коллекция серы из Шорсу. Гипсы из Гаурдака, первая модель мавзолея Ленина из самосадочной соли и многие другие. Имеются прекрасные образцы витерита, графита, киновари, антимонита, плавикового шпата, дюмортьерита и др. Здесь следует отметить, что в коллекции имеются образцы со всех континентов мира. Количество образцов 15000. В конце тридцатых годов стали создавать музей в ТашГУ, где имеются прекрасные образцы минералов. В настоящее время при Министерстве геологии вновь создан прекрасный музей.

По вопросу о печати и о связи с центром и за границей можно сказать, что первые годы нам здесь было трудно. Теперь минералогические работы печатаются в Академии наук УзССР, САИГИМСе, Министерстве геологии, в Университете и Политехническом институте и других учреждениях. Организовано Узбекистанское отделение Всесоюзного минералогического Общества, которое выпустило 20 томов «Записок».

Ташкентские минералогии и геохимики не замыкаются в своих научных изысканиях, а имеют тесную связь со многими городами Советского Союза и, главным образом, с Москвой и Ленинградом, где много ташкентских геологов работает в разных исследовательских организациях и учреждениях. Многие наши специалисты побывали за границей и сюда, в Ташкент, приезжают ученые, с которыми имеется деловой контакт.

Открытие большого количества минералов и месторождений в самое последнее время заставляет нас по-новому смотреть на Узбекистан и Среднюю Азию с точки зрения тех процессов гео-

химического характера, которые происходили в геологическое время.

Автор считает, что нам надо заниматься не изучением рассеянного состояния вещества, а его концентрацией. Поэтому все наши усилия были направлены на изучение полезных ископаемых. Теперь можно сказать, что благодаря советским геологам, минералогам и геохимикам Средняя Азия выдвинулась на одно из первых мест по ряду полезных ископаемых в Союзе.

Мы предполагаем направить усилия минералогов и геохимиков на изучение следующих видов полезных ископаемых:

1. Радиоактивные вещества.
2. Благородные металлы: золото, серебро, платиновый ряд.
3. Газ и нефть, сера, сероводород, углекислота, азот, уголь разных типов (убогие угольные месторождения представляют собой аккумуляторы разных металлов).
4. Полиметаллы и медь.
5. Редкие и рассеянные элементы.
6. Каолинит, алунит, корунд, боксит (алюминиевое сырье), огнеупоры, кислотоупоры и щелочеупоры.
7. Железные руды и припасы, ванадий, марганец, кобальт и пр.
8. Ртуть, сурьма, селен, теллур, висмут, мышьяк.
9. Соляной комплекс минералов и элементов, включая и бор.
10. Силикатное сырье для цемента и стекла.
11. Минеральное сырье для удобрений.
12. Драгоценные и поделочные камни; алмаз возможен в трубке взрывов.
13. Каменные строительные материалы и глины разных типов, включая адсорбенты.
14. Минеральные источники и воды глубоких скважин как материал для получения йода, брома, бора, разных щелочей и радиоактивных веществ.

Кроме изучения минералогии и геохимии месторождений полезных ископаемых наш коллектив минералогов предполагает проведение следующих исследований.

Синтез минералов, приближая его к естественным условиям. В настоящее время такая работа проводится Н. Т. Уклонской по получению водных сульфатов шляп серных месторождений, связанных с нефтяными месторождениями. Эти работы предполагается расширить. Кроме того, будут продолжены наши работы по синтезу твердых сплавов в контакте с соответствующими заводами, а также приступим к синтезу алмаза с учетом природных условий его образования.

Будут составлены не только сводки по минералогии Узбекистана, но и будут даны обобщения собранного материала. Автор предполагает внедрить в наши работы проблему параэлементов, которая является достижением советской науки.

Автор предполагает работать по совершенствованию своей минералогической гипотезы образования Земли, которая также является достижением советской науки.

Автор подготавливает переработанную геохимическую классификацию минералов, а его ученики — С. И. Ибадуллаев и К. С. Захидов занимаются переводами учебников по минералогии на узбекский язык.

Таким образом, полностью оправдан декрет В. И. Ленина о создании Туркестанского государственного университета с его геологическими кафедрами. Из университета возникли специализированные институты и лаборатории, а в них выросла армия геологов, за короткий срок выявившая богатства недр Средней Азии и Узбекистана.

К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ КАОЛИНОВЫХ И БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН*

Внимание геологов и минералогов давно привлекает проблема глин в связи с их практическим использованием в технике. В Париже, Праге, Брюсселе, Ленинграде, Москве, Ташкенте и других городах недавно проходили сессии, на которых обсуждались результаты изучения генезиса и синтеза глин. Обширная литература по этому вопросу здесь не приведена, так как она большинству геологов известна (1, 2).

Еще в конце двадцатых годов автор обратил внимание на связь месторождений серы и нефти с коллоидальными глинами. Однако данному вопросу не было уделено должного внимания, поэтому в свете новых идей он заново пересматривается.

Дир, Хауи и Зусман в монографии «Породообразующие минералы» (14) при рассмотрении генезиса монтмориллонитовых глин не отметили возможную их парагенетическую связь с нефтью, а каолиновых — с углем и нефтью.

Книга «Бентониты Узбекистана» (1) не дает четкого представления об образовании монтмориллонитовых бентонитов. Прочитав эту работу, можно подумать, что автор данной статьи рассматривает все монтмориллонитовые глины как парагенетические нефти и сере, чего никогда не было (11).

Любой минерал может образоваться при разных условиях, т. е. минералы полигеничны. Как каолин, так и монтмориллонит имеют многообразный генезис. В этой статье и сообщается об определенных типах генезиса.

Месторождения угля и нефти сопровождаются газами: углекислотой, углеводородами, сероводородом, азотом и другими, которые в присутствии воды воздействуют на минералы. Как известно, успехи геологов-нефтяников по-новому заставляют смот-

* В сб. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 21, Ташкент, 1970, с. 33—37.

реть на распространение нефти и газа. Достаточно сказать, что в старой Европе, в том числе в Голландии, на большой глубине открыто очень много нефтяных и газовых месторождений. Все это заставляет пересмотреть вопрос о парагенезисе сопровождающих нефть минералов.

Начнем с выяснения условий образования каолина. В. И. Вернадский (2) придерживался принятой в то время точки зрения о том, что каолин образуется при выветривании полевошпатовых пород при действии на них воды и углекислоты, горячей воды и фтористых соединений, воды и кремнекислоты на группу силиманита. В дальнейших работах эти положения развивались более детально.

Г. Г. Лебедев (6) еще в 1907 г. отмечал для ряда месторождений каолин с прослойками угля. Об этом же говорят И. И. Гинзбург и В. П. Зубчанинова (10).

Не останавливаясь на других работах, перейдем к рассмотрению данных в книге «Породообразующие минералы» (14).

Минералы глины делятся на кандиты, иллиты, смектиты и вермикулиты. Особенностью этих групп минералов является главный межслойный катион:

у кандитов его нет — $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$;

у иллитов — $\text{K} = \text{K}_{1,0-1,5}\text{Al}_4(\text{Si}_1\text{Al}_8)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$;

у смектитов — $\text{Ca}, \text{Na} = \text{M}_{0,66}^+(\text{Y}_1^{+3}, \text{Y}^{+2})_{4-6}(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$;

у вермикулитов — $\text{Mg} = \text{M}_{0,66}^+(\text{Y}^{+2}, \text{Y}^{+3})_6(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

По данным авторов этой книги, каолин $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ относится к группе кандитов. Он образуется в основном при изменении полевых шпатов и других силикатов как гидротермальным путем, так и при помощи выветривания. Полевая обстановка показывает, что каолин образуется преимущественно из кислых пород, а монтмориллонит — из богатых кальцием и натрем пород. Вне щелочных условий формируется каолин, а в щелочных — монтмориллонит. Каолин состоит из SiO_2 — 46%, Al_2O_3 — 39%, H_2O — 14% и других компонентов — 1%. Иллиты можно отнести к слюдам осадочного типа. Характерно, что натровый иллит-браммалит находится главным образом в ассоциации с угольными слоями.

Смектиты, к которым относятся монтмориллонит $(\text{Na})_{0,7} \cdot (\text{Al}_{3,3}\text{Mg}_{0,7})\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и бейделлит $(\text{Na})_{0,32}\text{Al}_{2,17}[(\text{OH})_2 | \text{Al}_{0,83}\text{Si}_{3,17}\text{O}_{10}]_{0,32}(\text{H}_2\text{O})_4$, составляют в основном бентонитовые глины. Эти минералы образуются путем выветривания основных пород, иногда проходя предварительную стадию цеолитизации, а иногда минуя ее. Монтмориллонит может получиться при выветривании основных пород при слабом дренаже, когда не выщелачивается магний; при сильном дренаже выщелачивается маг-

ний и образуется каолин. Кроме того, он может образоваться и при гидротермальном изменении основных пород.

Эти минералы мы можем рассматривать не только с кристаллохимических позиций, но и с химических. Все они содержат (ОН), который обычен для щелочной среды. Может ли минерал, содержащий гидроксил, образоваться из кислой среды? Описаны случаи искусственного получения алунита и естественного его образования при 230 и 100° при pH^{1-2} . Однако в большинстве случаев этот процесс можно объяснить смещением кислых и щелочных вод. В самом деле, если проанализировать реакцию воздействия CO_2 в воде на ортоклаз, то можно считать, что кислую реакцию воде придает углекислота, а щелочь получается из ортоклаза, т. е. реакция происходит при нейтрализации кислоты щелочью.

Любое угольное месторождение при выходе из воды начинает окисляться. Происходит холодное, медленное сгорание угля с образованием углекислоты, которая, растворяясь в воде, разрушает алюмосиликаты с образованием каолина. Последний, как и тот, который возникает в коре выветривания, в дальнейшем перемиывается и откладывается в виде чистой каолиновой глины.

Вопрос об условиях образования месторождений каолиновых глин многими учеными трактуется по-разному. Так, в Чехословакии как на стандартный гидротермальный каолин указывает месторождение близ Карловых Вар — Седлице. Г. Райс в работе «Глины» выделяет «первичные глины, образованные восходящими карбонатными водами». К данному типу относится каолин близ Карлсбада. В этом же районе находятся пегматиты со знаменитыми карсбадскими двойниками, что дало повод рассматривать каолин как гидротермальный. К югу от каолинового месторождения расположен Соколовский угольный бассейн с миоценовым бурым углем. В шахте Мария мощность угля 30 м. Мы рассматриваем седлицкий каолин как подугольную толщу. Постепенно каолин переходит в гранит, что дает основание некоторым геологам считать его образованием коры выветривания, в то время как он генетически связан с углем. Такое же положение наблюдается и в Ангрене.

Возникает вопрос: кора выветривания имеет региональное распространение или развивается в узко ограниченных местах, т. е. локальна она или региональна? Если считать, что кора выветривания имеет региональное распространение, то каолин следует искать в любых впадинах, независимо от угля. Если же считать, что каолин генетически связан с углем, то мы будем искать его во всех проявлениях угля.

Все ферганские угольные месторождения связаны с каолиновыми (огнеупорными) глинами. Это дало нам основание утверждать, что некоторые каолиновые глины генетически связаны с угольными месторождениями. Можно также утверждать, что все

угольные месторождения генетически связаны с каолиновыми глинами.

Кроме рассмотренного типа каолина имеется и нефтяной. Углекислота, образующая каолин, может сопровождать нефтяные месторождения, производя тот же процесс образования каолина. Примером этого может служить каолин Серных Бугров Каракумов, описанный группой А. Е. Ферсмана.

Монтмориллонит может образоваться разными путями. Обычная ташкентская глина (лесс) имеет в своем составе монтмориллонит. Однако мы никогда не утверждали, что лесс парагенен нефти и сере. Огромные толщи монтмориллонитовых глин возникают в море, однако они не мономинеральны, а содержат много примесей, в том числе слюды.

Дир, Хауи и Зусман не рассматривали минералы осадочных пород, поэтому они не обратили должного внимания на морские осадки. Надо полагать, что последние в отдельных случаях достаточно дренируются, однако нам неизвестно, чтобы среди них были найдены каолиновые залежи.

Для того, чтобы из монтмориллонитовой глины мог образоваться бентонит, необходимы следующие благоприятные условия: 1) наличие монтмориллонита; 2) действие специальной воды, которая, пептизируя глину, могла бы ее переработать в бентонит. Такая вода в большинстве случаев является нефтяной: щелочной или хлор-натриево-кальциевой. Без нефтяной воды этот процесс может произойти от взаимодействия гидротермы. Гидротермальные бентониты распространены очень незначительно. Они обычно залегают в виде небольших гнезд в пустотах лавы или небольших прожилок в рудных месторождениях. Кроме парагенезиса серы и нефти с минералами глин, следует упомянуть и другие парагенезисы (5, 7, 8, 13).

Ф. В. Чухров, изучая глинистые минералы в сульфидных месторождениях, отмечает, что их можно отнести к двум группам: ранней стадии выветривания и поздней. К ранней стадии относятся монтмориллонит, каолин, галлуазит, опал, нонтронит и др.; к поздней — аллофаны, медястые галлуазиты, каолин, цинковые монтмориллониты, включая соконит, и др.

М. А. Кашкай, исследуя минерализацию Малого Кавказа, обнаружил гидротермальный каолин, диккит, галлуазит, пиррофиллит, аунит, барит и сульфиды. Каолинизация связана с воздействием сернистых и углекислых терм на излившиеся породы.

Особый интерес представляет образование глин во время вулканических процессов на Камчатке и Курильских островах, описанных С. И. Набоко. Она пишет, что из остывающих лавовых потоков выделяются хлор, сернистый газ, сероводород и углекислота, которые воздействуют на силикатные породы и разлагают их с образованием каолиновых глин, что происходит при переводе в раствор сульфатов кальция, магния, натрия и калия. Титан

остается на месте, а кремний образует опал, который при старении превращается в кварц и кристобалит.

Процесс возникновения опала описан у С. И. Набоко и Ф. В. Чухрова. Мы описывали это явление для Шорсу, назвав такую опаловую породу сиштофитом.

Каолин и монтмориллонит, являясь типичными полигенными минералами, могут образоваться в разных условиях. Интересно, что сульфатные минералы, сопровождающие каолин и монтмориллонит, по составу близки к минералам парагенезиса серы и нефти, но морфологически отличаются друг от друга. Так, алуниг Шорсу представляет собой мелоподобное образование, а алуниг Акташа — камнеподобное вещество. Каолины Акташа и Серных Бугров также резко различаются. Однако это не всегда налицо.

Таким образом, для выяснения генезиса необходимы данные не только минералогического характера, но и геологического. Это еще раз подчеркивает связь минералогии с геологией и необходимость геохимического направления в минералогии.

В заключение следует сказать несколько слов об исследовании глин (5, 8, 13). Так как минералы глин представляют собой тонкодисперсные системы, они выделены в особую категорию с применением своеобразных методов исследований, начиная с кристаллохимических и кончая коллоидальными с поглощенными комплексами катионов, электронными, термическими и др. (7).

Мы предложили определять суммарный изотопный состав воды из глин. За стандарт принималась вода московского водопровода, принятая нами за нуль. Определение проводилось В. М. Глущенко под руководством А. С. Уклонского в Институте геологии АН УзССР. Измерения даны в гаммах.

Каолиновые глин: Акташ-Агальматолит-каолиновый +0,38—2,12; Гушсай, Агальматолит-диккитовый +11,78; Гушсай, вторичный каолин —1,94—4,3; Ангрэн-Апартак = +7,56, +1,48, +0,84, +0,52, +0,20, —1,24, —1,83, —2,22.

Монтмориллонитовые глин: Бентонит из Азкамара +1,72, Глин СЗ Ферганы, Нарынский разрез + 14,1, +5,64, +2,12, +2,44 (верхи юры); +13,8, +11,68 (низы мела); +7,56 (середина мела).

Приведенные сведения о первых наших шагах в области изучения воды глин недостаточны для того, чтобы делать определенные выводы. Однако в нашем распоряжении имеется большой материал по изучению суммарного изотопного состава воды, на основании которого мы можем говорить о том, что общий фон воды Средней Азии минусовый (—3). Это снеговые воды (12). Гушсайский вторичный каолин имеет воду снегового типа. Вероятно, он образовался в коре выветривания. Ангрэнский каолин имеет разный характер воды от плюсовой до минусовой. Следовательно, его пока нельзя окончательно отнести к тому или иному типу. Можно предположить, что он является корой выветривания. Исследования в этом направлении продолжаются.

Что же касается вопроса о генезисе монтмориллонитового бентонита Азкамара, то про него можно определенно сказать, что он генетически связан с нефтью или нефтяным газом. Это касается и некоторых ферганских глин.

В заключение следует отметить, что определение суммарного изотопного состава воды минералов глин наряду с минералогическим исследованием и геологическим изучением их облегчает геологам поиски и разведку полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бентониты Узбекистана, Ташкент, 1963.
2. В. И. Вернадский. Минералогия (лекции), М., 1908.
3. Р. Г. Гримм. Минералогия глин, ИЛ, 1959.
4. Б. Б. Звягин. Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов, М., 1964.
5. М. А. Кашкай. Образование глинистых минералов при гидротермальных процессах, М., 1958.
6. Г. Г. Лебедев. Учебник минералогии. СПб, 1907.
7. Материалы по геологии и минералогии и использованию глин в СССР. Доклады на Международном совещании по глинам в Брюсселе в 1958 г., М., 1958.
8. С. И. Набоко. Образование глин при поствулканических процессах, М., 1958.
9. Г. Райс. Глины, Л., Госхимтехиздат, 1932.
10. Сборник «Нерудные ископаемые», АН СССР, Л., 1927.
11. А. С. Уклонский. Парагенезис серы и нефти, Ташкент, 1940.
12. А. С. Уклонский, В. М. Глушенко, Л. П. Крайнова. Изотопный состав вод Узбекистана, Ташкент, 1965.
13. Ф. В. Чухров. О глинистых минеральных зонах, гипергенез сульфидных минералов, М., 1958.
14. Deer, Howie and Zussman Rock Forming Minerals. 3v, London, Longmans, 1963.

К ГЕОХИМИИ ЗОЛОТА*

Элементы первой группы, к которой относится золото, являются очень хорошими проводниками, но не обладают ферромагнитными свойствами; элементы восьмой группы отличаются и теми, и другими свойствами. Эти группы расположены на краях периодической системы Менделеева; в центре — полупроводники.

Новые варианты этой системы только усложняют понимание свойств химических элементов. Так, отделение бора от бериллия и в особенности алюминия от магния совершенно не оправдано. Вызывает сомнение и расположение трансуранидов по группам периодической системы. В силу этих соображений, мы используем систему в первоначальном виде.

В этой статье нами рассматриваются все изотопы золота — устойчивые и эфемерные с периодами полураспада от долей секунды до нескольких лет. При таком подходе к данному вопросу все

*Опубликовано в сб. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 23, Ташкент, 1970, с. 127—131.

элементы являются полиизотопами. Однако главную роль в понимании геохимических вопросов играют устойчивые изотопы.

Золото (Au) — металл первой группы, бывает атомарным и ионизированным, одновалентным и трехвалентным, с радиусом атома $1,44 \text{ \AA}$ и иона $+1,37 \text{ \AA}$. У серебра радиус атома такой же, как у золота — $1,44 \text{ \AA}$, но радиус иона — $1,13$; у меди — соответ-

Таблица 1

Изотопы золота, платины и некоторых других элементов

Au	Pt	Ir	Os	Re	W	Ta	Hf	Tl	Pb	Bi
183	6 изотопов		183	183	183	183				
187		187	187	187	187					
188		188	188	188	188					
189		189	189	189	189		189			
191		191	191	191			191			
192		192—0,78	192	192			192			
193				193						
193		193	193				193			
194		194—32,8	194	194			194			
195 _m		195	195				195			
195		195—33,7								
196			196							
196		196—25,4					196			
197		197					197			
197 Стабильный 100%		197.18 час.	197/7 мин. 198				197	197	197	
198		198—7,23					198	198	198	
199		199					199	199	199	198
200						200	200	200	199	
201						201	201	201	200	
202—204						202	202	202	201	
203						203	203	203	202	
									203	

ственно $1,28 \text{ \AA}$, $0,96$ и $0,83$; у платины $1,38$, $0,52$; у иридия — $1,35$, $0,66$; у осмия — $1,35$, $0,67$; у железа — $1,24$, $0,83$ и $0,67$. Таким образом, изоморфное замещение возможно только у атомарного золота с такими атомарными элементами, как серебро, платина, иридий, осмий, реже с медью и еще реже с железом. У ионизированного золота радиус значительно отличается от радиуса приведенных выше элементов и поэтому такой изоморфизм вряд ли возможен (табл. 1).

В перечисленных минералах золото находится в атомарном состоянии в виде зольа, а, может быть, даже в форме протокристаллов. Оно захватывается при кристаллизации распространенных минералов и не может замещать ионизированные медь и железо.

Золото с железом встречается только совместно с платиной, у которой связь с железом обычная. Некоторые авторы считают, что нагиагит содержит железо и золото. Так, формула нагиагита

по А. Г. Бетехтину $Au, (Pb, Sb, Fe)_8(S, Se)_{11}$, по Штрунцу $AuTe_2 \cdot 6Pb(S, Te)$. Остальные авторы придерживаются формулы $Pb_5Au(Te, Sb)_4S_{5-8}$. Золото имеет 21 изотоп (один из них устойчивый) и относится нами к моноизотопам. Остальные изотопы имеют продолжительность жизни от 1 сек. до 185 дней. Устойчивые изотопы золота имеют изотопы: $118-Pt - Au - Hg - 118$.

Таблица 2

Изотопы серебра и некоторых других элементов

Ag	Cd	In	Sn	Pd	Rh	Ru	Mo
102				102	102	102	102
103				103	103	103	
104	104			104	104	104	
105	105			105	105	105	105
106	106			106	106		
107							
107—51,35%	107	107	—	107	107	107	
108	108	108	108	108		—	
109m				109	109	108	
109—48,65%	109	109	109	109			
110m; 270 дн.	110	110	110	110			
110		110					
111m	111m			111			
111	111	111	111	111			
112	112	112	112	112			
113	113	113	113	113			
114	114	114	114				
115	115	115	115				

Таким образом, золота генетически связано с Os, Ir, Pt, Re, W, Ta и, наконец, с Hg, Tl, Pb, Bi.

Кроме этого, золото и серебро имеют одинаковый радиус атома, что генетически связывает эти два элемента, а через них и другой ряд элементов.

Изотопы серебра, как и золота, мы приводим только для устойчивых изотопов: 60 — Ru, Pd, Ag, Cd — 60; 62 — Pd, Ag, Cd, Sn — 62 (табл. 2).

Таким образом, серебро, кроме золота, генетически связано, с одной стороны, с кадмием, индием, оловом и молибденом, а с другой — с палладием, рутением и родием.

Параэлементы серебра (табл. 3) аналогичны параэлементам золота. Золото имеет мало растворителей и осадителей.

Рассматривая параэлементы золота (табл. 4), можно отметить, что оно осаждается совместно с медью, серебром и платиновой группой в атомарном состоянии. Железо связано с золотом только в платиновой группе. Сера с золотом сульфидов не образует,

за исключением нагиагита — $\text{AuTe}_2 \cdot 6\text{Pb}(\text{S}, \text{Te})$, в котором ведущую роль играет не сера, а теллур. Наличие селенистого золота оспаривается, но, вероятно, оно существует, судя по данным В. В. Обручева и Линдгрена.

Мальдонит Au_2Bi и аурустибит AuSb_2 указывают на ограниченность связей золота с другими элементами.

Таблица 3

Параэлементы серебра (28)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	+H							
2	Li	Be	B	C	N	+O	F	
3	+Na	Mg	Al	+Si	P	+S	+Cl	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	+Cr	+Mn	+Fe + Co Ni
5	+Cu	+Zn	Ga	+Ge	+As	+Se	+Br	
6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru Rh Pd
7	⁴⁷ +Ag	Cd	In	+Sn	+Sb	+Te	+J	
8	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os + r + Pt
9	+Au	+Hg	+Tl	+Pb	+Bi	Po	At	
10	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U		

Примечание: $r_a = 1,44$ Уд. в. 10,60 Кларк 0,1 г/т Динзотопы
 $r_1 = 1,13$ т. 2,5 Au 107,8; 47 про- 107—109
 t° пл. 960,5 тенов; 62 нейтро- Неустойчивые—
на; 47 электронов, 17 $\Sigma - 19$

Эта особенность золота позволяет предположить, что оно находится в рудных растворах не в виде хлорида, а в атомарном состоянии в виде золя. Хлорид золота возможен только в кислой среде, при его вторичном перемещении и образовании самородков.

В рудных растворах одну из главных ролей играют сера и щелочи, препятствующие образованию кислой среды, в которой бы перемещались хлориды, сульфаты и проч.

В щелочной среде переносится кремнезем и вообще металлы, а золи золота не осаждаются серой, следовательно, оно может проходить в верхние горизонты. Уран тоже не осаждается серой. Железо осаждается серой, но железа в 100 раз больше серы, поэтому не сера осаждаёт железо, а наоборот. В дальнейшем железо выделяется в кислородной форме в виде железной слюдки, гематита, а при метаморфизации может превращаться в магнетит.

Совместное перемещение золота и генетически связанных с ним элементов — своеобразный процесс. При кристаллизации и осаждении такие минералы, как пирит и халькопирит выносятся из растворов какое-то количество золота, а также его парагенные элементы, в том числе и платину. Таким путем вместе с золотом отложились полнксен и порпечит в халькопиритах, слагающих линзу в гранатово-пироксеновых скарнах Тянь-Шаня.

Таким образом, количество золота в Земле, исчисляемое нашими геохимиками 0,005 г/т, условно, так как оно относится к изверженным породам. Наличие золота в метеоритах (В. Mason) сомнительно. Все это говорит о неизученности данного вопроса. Если мы встанем на нашу позицию образования Земли и учтем,

Таблица 4

Параэлементы золота (17)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H							
2	Li	Be	B	C	N	O	F	
3	Na	Mg	Al	Si	P	S ⁺	Cl	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe+ Co Ni
5	Cu ⁺	Zr	Ga	Ge	As	Se ⁺	Br	
6	Rb	Sr	Y	Zn	Nb	Mo	Tc	Ru+ Rh+Pd+
7	Ag ⁺	Cd	In	Sn	Sb ⁺	Te	J	
8	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os+ Ir+ Pt+
9	⁷⁹ Au ⁺	Hg ⁺	Tl	Pb ⁺	Bi ⁺	Po	At	
10	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U		

Примечание: $r_a = 1,44$; Уд. в. 19,33

$r_i = 1,37$; тв. 2,5

¹⁰ пл. 1063°

Кларк 0,005 г/т

Au—197,2; Моноизотоп—I
79 протонов; Неустойчивые—20
118 нейтронов; $\Sigma = 21$
79 электронов.

что золото не обладает ферромагнитными свойствами, то его не следует искать среди ферромагнитного железа метеоритов.

Мы уже отметили, что у золота мало параэлементов, плохая растворимость и большой радиус иона. Все это свидетельствует о том, что главная его масса находится в атомарном состоянии и что золото вообще не может быть изоморфной примесью какого-либо элемента в минерале силикатных пород.

Следовательно, золото принадлежит к числу элементов, которые не относятся ни к сидерофильным, ни к халькофильным, ни к литофильным. Оно самостоятельно и может попасть в любую зону. Однако ввиду близости к меди и серебру в особенности (одинаковые радиусы атомов), его условно можно отнести к халькофильным элементам, не имеющим сродства с серой.

При рассмотрении месторождений золота мы можем задать вопрос, откуда оно берется. Очень просто можно ответить, что оно связано с магмой той или иной интрузии. Если учесть, что золотоносными являются огромные регионы (Южная Африка) и многие породы, в том числе и интрузивные, многократно пере-

плавлялись при погружении отдельных блоков Земли, можно сказать, что золото возникает на больших глубинах. Это заставляет нас предположить, что между сидерофильной и халькофильной зонами имеется промежуточная зона без серы, содержащая золото, и элементы платинового и других рядов.

На основании изучения парагенезиса минералов мы вправе говорить, что месторождения золота могут быть найдены в районах Кривого Рога, КМА, на Кавказе и в Средней Азии, в особенности в Кызылкумах, Кураминских и Чаткальских горах, на Памире, в Тянь-Шане и, конечно, в Казахстане. Урал и Сибирь золотосны, но изучены они еще недостаточно.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Уклонский. Новая минералогическая гипотеза образования Земли. Труды ТашГУ, вып. 234, 1964.
2. А. Е. Ферсман. Геохимия, т. 4, Л., Гос. н.-т. изд-во хим. л-ры, 1939.
3. В. М а s o n. Principles of Geochemistry. New-York—London, 1958.
4. В. М а s o n. Extraterrestrial, Mineralogy, The American Mineralogist, March—April, 1967.
5. К. Ранката and Th. G. Sahama. Geochemistry. The University of Chicago Press, 1950.

Александр Сергеевич Уклонский

ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

Избранные труды

Утверждено к печати

*Ученым советом Института геологии и геофизики
им. Х. М. Абдуллаева и Отделением наук о Земле
АН УзССР*

Редактор Л. М. Мазурина
Художник А. С. Ежов
Технический редактор Л. П. Тюрица
Корректор С. Ф. Сигал

ИБ № 1543

Сдано в набор 15.02.82. Подписано к печати 23.03.82. P05009. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 1000. Заказ 35. Цена 2 р. 20 к.

Адрес Издательства: 700047. Ташкент, ул. Гоголя, 70.
Типография Издательства «Фан» УзССР, Ташкент, проспект М. Горького, 79.

3736