



МИНЕРАЛОГИЯ

Авторы: М. Е. Генералов

МИНЕРАЛОГИЯ (от *минерал* и *...логия*), наука о минералах, их составе, свойствах, морфологии, особенностях структуры, процессах и условиях образования и изменения, закономерностях их совместного нахождения в природе, а также условиях и методах искусств. получения (синтеза) и практич. использования. Обобщённо предмет М. — вещество, находящееся на специфическом (минеральном) уровне структурной организации материи. Гл. задачи М.: разработка науч. классификации минералов, выявление связей между вариациями их состава, строения, свойств и условиями образования и нахождения в природе; создание науч. основ для поисков и оценки месторождений минер. сырья, совершенствования технологии его переработки, вовлечения новых видов минер. сырья в пром. использование; разработка методов искусств. выращивания и обогащения кристаллов ценных минералов.

М. — одна из старейших естеств. наук, первоначально охватывающая широкий спектр исследований в области наук о «твёрдой Земле». По мере развития М. от неё отделились: кристаллография (18 в.), петрография (19 в.), учение о полезных ископаемых, геохимия (кон. 19 — нач. 20 вв.), кристаллохимия (первые десятилетия 20 в.). М. наиболее широко использует законы и методы совр. физики твёрдого тела и химии, во многих отношениях она находится на стыке наук геологич. и физико-химич. циклов.

Структура науки

Исторически в М. сложились следующие направления. Описательная М. — охватывает круг вопросов, относящихся к характеристике отд. минералов, изучает вариации их химич. состава, устанавливает зависимость между физич. свойствами минералов и особенностями их состава и кристаллич. структуры; занимается вопросами систематики и классификации минералов. Самостоят. раздел описательной М. — физика минералов, использующая методы физики твёрдого тела при исследовании природных кристаллов минералов.

Наноминералогия — изучает микрофазы (наноразмерности) минер. вещества, свойства которых отличаются от свойств аналогичных макровыделений минералов.

Генетическая М. — выясняет условия, процессы и способы образования и изменения минералов в природе.

Включает учение о *типоморфизме минералов*; онтогенетический анализ, дающий информацию об истории формирования минер. индивидов и агрегатов; исследование твёрдых, газовой-жидких и расплавных *включений* как источников информации о минералообразующей среде; парагенетический анализ, позволяющий предсказывать нахождение минерала в той или иной ассоциации, а также выделять разл. стадии процесса минералообразования; установление геотермометров и геобарометров — минералов, по которым можно определять термодинамич. параметры образования месторождений.

Экспериментальная М. — занимается лабораторным моделированием природных процессов образования минералов и изучением физико-химич. систем, воспроизводящих природные минер. парагенезисы и обстановку

их формирования. Самостоят. раздел эксперим. М. – синтез и обогащение минералов, применяющихся в ювелирном деле и технике (алмаз, пьезокварц, рубин, сапфир и др.).

Региональная М. – осуществляет минералогич. изучение определённых территорий, рудных провинций и месторождений для установления закономерностей распределения минералов и их ассоциаций в связи с историей геологич. развития региона (провинции) или формирования месторождения. Региональная М. связана с [металлогенией](#).

М. космических тел, объектом которой является кристаллич. вещество Луны, планет, метеоритов, – новая область М., близкая к быстроразвивающейся сравнит. планетологии.

Прикладная М. – рассматривает вопросы, связанные с вовлечением в пром. использование новых минер. видов, с проведением минералогич. исследований, направленных на более полное комплексное использование минер. сырья и извлечение полезных компонентов; разрабатывает методы минералогич. картирования, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых и др. К числу прикладных направлений М. можно отнести и [геммологию](#). В совр. М. происходит синтез её исторически сложившихся направлений.

Методы исследования

Традиц. методами исследования М. являются полевое и лабораторное определение и анализ минералов. В минералогич. практику давно вошли оптич., рентгенографич. и термич. методы. Кроме того, М. вооружена разнообразными прецизионными физич. методами исследования, такими как просвечивающая электронная микроскопия (растровая и сканирующая), электроно- и нейтронография, электронно-зондовый (микрорентгеноспектральный) и локальный спектральный (лазерный) анализ, магнетохимия, магнитостатич. (метод Фарадея) и термомагнитные измерения, электрофизич. методы (определение диэлектрич. проницаемости, тангенса угла диэлектрич. потерь и термоэдс), спектроскопич. методы (оптическая, люминесцентная, ИК-спектроскопия). Существует группа резонансных методов: ЯГР (ядерный гамма-резонанс; мёссбауэровская спектроскопия), ЭПР (электронный парамагнитный резонанс), ЯМР (ядерный магнитный резонанс) и др. методы, позволяющие выявлять весьма тонкие особенности кристаллич. структуры минералов, наличие в них точечных дефектов и т. д. Всё шире используются методы: изотопические, термобарогеохимии с анализом состава жидкой и газовой фаз включений и привлечением спектроскопии комбинационного рассеяния к исследованию состава минералообразующих сред по индивидуальным включениям. Интенсивно развиваются методы количественного фазового анализа.

Исторический очерк

Накопление данных о минералах началось в глубокой древности по мере их использования для изготовления орудий труда, пигментов, украшений, предметов культа, сырья для получения др. материалов (стёкол, сплавов). Письм. источники, содержащие данные о свойствах минералов, представления об их происхождении, попытки классификации, известны с античных времён. В книгах европ. учёных времён античности – [Аристотеля](#), [Теофраста](#), [Страбона](#) и [Плиния Старшего](#) – содержится информация о более чем 300 минералах и их разновидностях. Одни из наиболее ранних описаний минералов также найдены в др.-кит. рукописях, напр. в трудах кит. учёного Цзи Ни Цзы 4 в. до нашей эры.

Поиски минер. сырья, развитие медицины, алхимии в раннем Средневековье дали новые сведения о свойствах минералов, что наиболее ярко отражено в трудах учёных араб. Востока. Сведения о металлах и минералах содержатся в трудах Джабира ибн Хайяна, который одним из первых применил эксперим. методы в изучении природного вещества. Широко известны работы аль-Бируни, описавшего ряд драгоценных камней и предложившего способ их диагностики по плотности, а также Ибн Сины (Авиценны), классифицировавшего минералы на основании внешних признаков и физич. свойств, таких как плавкость, горючесть, растворимость и др. С развитием металлургии и алхимии в Европе в средние века появились новые данные о минералах и рудах, обобщённые Альбертом Великим в работе «De mineralibus». Однако до эпохи Возрождения М. не выделялась как самостоят. наука, а развивалась в комплексе с металлургией, фармацевтикой, алхимией. Становлению М. как самостоят. науки способствовали труды Г. Агриколы – «De natura fossilium» (1546), «De re metallica, libri XII» (1550) и др.; в них приведена классификация, в которой минералы подразделены на основании физич. свойств на земли, камни, металлы, «загустевшие соки». Г. Агриколу считают «отцом» М., хотя название науке было предложено итал. естествоиспытателем Б. Цезием (Цезиусом) позднее (кн. «Mineralogia» издана после его смерти в 1636).

С 17 в. учёные начали систематически изучать кристаллы минералов. В 1669 Н. Стено установил закон постоянства углов между гранями кристаллов одного минер. вида. В том же году Э. Бартолин опубликовал материал по исследованию исландского шпата, что положило начало изучению оптич. свойств кристаллов. Развитие представлений о морфологии и свойствах природных кристаллов также связано с именами Х. Гюйгенса, Р. Бойля, Р. Гука, франц. учёного Ж. Б. Роме де Лиля. В 1735 К. Линней предложил классификацию, в основу которой были положены внешние признаки минералов. Полученные в 17–18 вв. данные позволили Р. Ж. Гаюи разработать теорию кристаллич. структуры минералов. Усовершенствованием методов исследования кристаллов и развитием теории кристаллич. строения минералов в 18–19 вв. занимались брит. учёные У. Х. Волластон, У. Николь и Г. К. Сорби, франц. геолог П. Кордье.

Детальные исследования физич. свойств минералов в кон. 18 – нач. 19 вв. проводились в естественно-историч. фрайбергской минералогич. школе, созданной А. Г. Вернером. Один из учеников А. Г. Вернера – Ф. Моос – разработал десятибалльную шкалу твёрдости минералов (Мооса шкала). В этот период происходит разделение М. и геологии (геогнозии). В Европе появились первые минералогич. общества: Великокняжеское минералогич. об-во в Йене (1797), Британское минералогич. об-во (1799), Дрезденское минералогич. об-во (1816), Рос. минералогич. об-во (1817).

Развитие химич. исследований значительно расширило познания о составе и химич. свойствах минералов, что дало возможность разработать новые принципы их классификации. Химич. признаки были положены в основу классификаций, предложенных М. В. Ломоносовым, с исследований которого началась история М. в России, В. М. Севергиным, швед. исследователями А. Ф. Кронstedтом, Й. Я. Берцелиусом, нем. учёными И. Ф. А. Брейтгауптом, М. Г. Клапротом. Классификация Берцелиуса, усовершенствованная нем. минералогом К. Ф. Раммельсбергом, легла в основу получившей широкое распространение систематики Дж. Даны (1844). Ломоносов и Севергин большое внимание также уделяли развитию представлений о происхождении минералов. Севергин стал основателем учения о «смежности минералов», естеств. парагенетич. минер. ассоциациях, позднее (сер. 19 в.) тщательно изученных И. Ф. А. Брейтгауптом. Усовершенствование методов химич. исследования и анализ соотношений между составом и физич. свойствами минералов привели к открытию

явлений [полиморфизма](#) (М. Г. Клапрот, 1798) и [изоморфизма](#) (Э. [Митчерлих](#), 1819).

В России в 19 в. наиболее весомый вклад в развитие М. внесли Д. И. Соколов («Руководство к минералогии», ч. 1–2, 1832), Н. И. [Кокшаров](#) и П. В. [Еремеев](#), давшие подробные описания минералов, встречающихся в месторождениях России. Решающую роль для понимания структурно-химич. характеристик минералов сыграли работы Е. С. [Фёдорова](#), который задолго до появления эксперим. методов математически вывел все 230 возможных пространственных групп симметрии кристаллов. Созданная Д. И. [Менделеевым](#) периодич. система химич. элементов стала новой основой химич. классификации минералов.

Более глубокому изучению химич. состава минералов способствовало применение спектрального анализа, начало которому было положено в сер. 19 в. исследованиями Р. В. [Бунзена](#) и Г. Р. [Кирхгофа](#). Возникло новое химико-генетич. направление в М., рассматривавшее М. как «химию земной коры»; это направление развивали нем. геолог К. Г. Бишоф, Ж. [Эли де Бомон](#), отеч. учёные П. А. Земятченский, В. В. [Докучаев](#). В нач. 20 в. трудами В. И. [Вернадского](#), Ф. У. [Кларка](#), В. М. [Гольдшмидта](#), А. Е. [Ферсмана](#) из состава М. выделилась новая самостоят. наука – геохимия. Эксперименты с минералами радиоактивных элементов дали начало развитию радиохимии. Огромное влияние на развитие М. в кон. 19–20 вв. оказало сформулированное в 1876 Дж. У. [Гиббсом](#) правило фаз (см. [Гиббса правило фаз](#)). Исследования условий равновесия физико-химич. систем (К. Д. [Хрущёв](#), П. [Ниггли](#), амер. учёные Г. Куллеруд, Н. Л. [Боуэн](#) и др.), законов кристаллизации солей из растворов (Н. С. [Курнаков](#), Я. Х. [Вант-Гофф](#)), коллоидных систем (бельг. учёный Ф. Корню, Р. В. ван [Беммелен](#) и др.) создали физико-химич. основу для объяснения природных процессов образования минералов.

После открытия в нач. 20 в. [дифракции рентгеновских лучей](#) стало возможным проникновение в атомное строение кристаллов; проведённые У. Г. и У. Л. [Брэггами](#), Г. В. [Вульфом](#) и др. рентгеноструктурные исследования большинства минералов позволили рассматривать их состав и строение в единстве, разработать новую теорию изоморфизма (В. М. Гольдшмидт, А. Е. Ферсман), создать кристаллохимич. классификацию минералов, с новых позиций подойти к пониманию их физич. свойств.

В России новый этап развития М. наступил в 1920-х гг. в связи с бурным развитием горнодобывающей пром-сти и геолого-разведочной службы, вызвавшим резкое увеличение количества минералогич. центров и стимулировавшим широкомасштабные топоминералогич. исследования всей страны. Этими исследованиями в 1920–30-х гг. руководили А. Е. Ферсман, Н. М. Федоровский, С. С. Смирнов, Н. А. Смольянинов и др. В результате были получены новые данные, ставшие основой для глубоких теоретич., кристаллохимич. и геохимич. обобщений. Одновременно это ускорило развитие прикладной М., привело к вовлечению в пром. освоение новых видов минер. сырья (апатита, нефелина, лопарита, пирохлора, кианита, фенакита, берtrandита и др.), к выявлению новых областей практич. использования минералов. Быстрыми темпами стала развиваться генетич. М., особенно применительно к изучению рудных месторождений. Открыта и исследована кристалломорфологич. эволюция минералов, послужившая основой для разработки новых методов поисков и оценки месторождений полезных ископаемых (Д. П. Григорьев, И. И. Шафрановский, Н. П. Юшкин и др.). Значит. успехи достигнуты в области пром. синтеза минералов и геммологии. Развитие получила прикладная М., основоположниками которой были Н. М. Федоровский и А. И. Гинзбург.

Существенный прогресс в минералогич. исследованиях произошёл после применения рентгеноспектральных методов исследования, особенно после появления в сер. 20 в. микрозондового анализа, позволившего изучать

состав вещества в зёрнах микронного размера. Ионные микрозонды сделали возможным локальные исследования примесей в минералах, изотопного состава отд. участков кристаллов. Во 2-й пол. 20 в. для выявления разл. аспектов конституции минералов начали применять оптич. спектроскопию, раман- и оже-спектроскопию, методы ЭПР и ЯМР и др. Появилась возможность изучать кристаллич. структуру минералов (в т. ч. микрокристаллов) методами рентгеновской, электронной, нейтронной дифракции. Прогресс локальных методов исследования привёл к возникновению нового направления – наноминералогии.

Во 2-й пол. 20 в. в орбиту исследования М. было вовлечено вещество метеоритов, лунных пород, частицы межпланетной пыли и кометный материал. Проводились эксперименты по дистанц. изучению вещества планет Солнечной системы и их спутников. В кон. 20 – нач. 21 вв. открыты минералы, расширившие представления о процессах минералообразования в земной коре, в т. ч. экстремально восстановленные (самородные Al, Zn, Cd, In и др.) и окисленные (кислородные и галогенидные соединения Au и металлов платиновой группы), минер. фазы элементов, которые обычно встречаются только в рассеянном состоянии (напр., Re). Обнаружение гибридных, смешаннослойных структур, находки квазикристаллов со структурами, выходящими за пределы фёдоровских групп симметрии, углубили представления о кристаллохимии минералов. Число известных минералов – ок. 4500 (нач. 21 в.).

Литература

Лит.: Григорьев Д. П., Шафрановский И. И. Выдающиеся русские минералоги. М.; Л., 1949; Ферсман А. Е. Избр. труды. М., 1952–1962. Т. 1–7; Костов И. Минералогия. М., 1971; Миловский А. В., Кононов О. В. Минералогия. М., 1982; Булах А. Г. Минералогия с основами кристаллографии. М., 1989. См. также лит. при ст. Минерал.