

УДК 549.0

ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЦИИ

С. А. РУДЕНКО, В. Ю. ЭШКИН

История становления учения о фациях, в развитии которого столь значительная роль принадлежит Д. В. Наливкину [8], знаменуется, с одной стороны, расширением круга охватываемых этим учением объектов, а с другой — все более широким и глубоким учетом их особенностей. Так, зародившись в начале прошлого столетия благодаря трудам швейцарского геолога П. Грессли, оно в последующем превратилось, в сущности, в учение об осадочных фациях. Затем в самом начале нынешнего столетия, в 1914—1920 годах, на основе значительного фактического материала по метаморфизму горных пород П. Эскола [18] ввел понятие «метаморфическая фация». Позже, в значительной мере благодаря трудам М. А. Усова [12], утвердилось понятие «фация магматических пород», а Д. С. Коржинский [5] распространил понятие фаций на метасоматические горные породы.

Столь интенсивное развитие учения о фациях стало возможным благодаря тому, что за прошедшее столетие был накоплен и осмыслен очень большой материал относительно состава и условий образования горных пород и месторождений разного происхождения. Естественно, что при таком широком охвате объектов возникла необходимость уточнения понятия «фация» и выработки единого подхода к проблеме фации. Результатом такого подхода стало появление понятия «минеральная фация». Первым его сформулировал П. Эскола [18] следующим образом: «К одной определенной фации относятся породы, которые при одинаковом общем химическом составе обнаруживают одинаковый минеральный состав, причем при изменении химического состава их минеральный состав изменяется сообразно с определенными правилами» [5, с. 82]. Иную формулировку в 1952 г. дал Рамберг [19]: «Породы, образованные или перекристаллизованные в определенном поле значения температуры и давления, ограниченном устойчивостью некоторых критических минералов определенного состава, принадлежат к одной минеральной фации» [5, с. 82]. Наконец, в трактовке Д. С. Коржинского это определение звучит следующим образом: «Породы, образовавшиеся в столь близких внешних условиях, что связь между химическим составом у них выражается одними и теми же закономерностями, могут быть отнесены к одной минеральной фации» [5, с. 82].

Опираясь на современные воззрения [5,9], минеральную фацию следует определить как парагенезис минералов осадочных, магматических, метаморфических или метасоматических пород, сформировавшихся в определенных физико-химических условиях. Применительно к осадочным породам это физико-географические условия седиментогенеза или условия

диагенеза, а для магматических, метаморфических и метасоматических пород — температура, давление и концентрация подвижных компонентов в период их формирования. Таким образом, минеральная фация является вещественным выражением конкретных условий образования горных пород и месторождений полезных ископаемых, различных (магматических, метаморфических, метасоматических или рудных) формаций.

Определенный минеральный состав образований, относящихся к тем или иным фациям, позволяет использовать для их выделения принципы типоморфического анализа. В какой-то мере как отражение этого можно рассматривать появление в учении о фациях таких понятий, как абиссофобные и абиссофильные минералы, которые устойчивы на разной глубине [4], и ряд других.

В последние десятилетия особенно бурное развитие получило учение о метаморфических фациях, что нашло отражение в монографии, изданной под редакцией В. С. Соболева [13]. Здесь по степени значимости все минералы и ассоциации, возможные в данной фации, подразделены на четыре категории:

- 1) критические — возможные только в данной фации;
- 2) типоморфные — широко распространенные в данной фации, но возможные при некоторых, более редких составах пород в других фациях;
- 3) обычные;
- 4) редкие.

Принимая во внимание минеральные парагенезисы, наблюдаемые в природе, и особенности реакций преобразования одних минеральных ассоциаций в другие, полученные экспериментально, авторы монографии предложили такую схему фаций контактового и регионального метаморфизма, на которой в системе P — T -координат выделены поля, отвечающие тем или иным фациям и субфациям метаморфизма («петрогенетическая решетка»). При картировании метаморфической зональности и при сопоставлении метаморфических пород разных районов авторы рекомендуют использовать взаимоисключающие минералы или ассоциации минералов. Самым простым примером являются полиморфные модификации: силлиманит и дистен, кварц и коэсит, графит и алмаз и другие.

Исходя из того, что на P — T -диаграммах соответствующие фации и субфации представляют собой поля, в пределах которых внешние условия меняются, априори следует, что этим изменениям может сопутствовать не только смена минеральных парагенезисов, но и некоторые (закономерно проявленные) изменения конституции, морфологии и свойств отдельных минералов. Значительный материал в этом отношении дает нам учение о типоморфизме минералов. Он свидетельствует о том, что такие изменения имеют место при переходе от одной фации (или субфации) к другой и даже в пределах одной субфации. Вместе с тем такая фациальная изменчивость часто свойственна не любым минералам данного парагенезиса, а лишь определенным минералам, являющимся индикаторами внешних условий [10].

Развивая эти наблюдения и имея в виду нужды поисковой минералогии и минералогического картирования — нового важного направления прикладной минералогии, — представляется целесообразным расширить учение о фациях, дополнив его понятием *фация минерала*. И хотя особенности внутреннего строения, состава, морфологии и свойств минералов могут меняться с изменением внешних условий сопряженно, целесообразно выделять применительно к разным объектам и для разных конкретных минералов кристаллохимические, кристалломорфологические и кристал-

лофизические фации. Такое разграничение целесообразно осуществлять в зависимости от степени информативности того или иного из перечисленных признаков минералов. Возможно использование этих признаков и в комплексе.

Обратимся к *кристаллохимическим фациям минералов*. Здесь большую роль играют минералы переменного состава. К ним относятся, в частности, блеклые руды, используя которые Б. В. Чеснокову удалось выявить эндогенную зональность Березовского золоторудного района [14]. Традиционными методами геологического картирования такая зональность не улавливалась. Рассмотрим этот пример. При минералогическом картировании использовался состав блеклых руд, для которых характерна четкая корреляция между содержанием мышьяка и параметром элементарной ячейки минерала a_0 . С использованием этого параметра, который определялся с помощью специального экспрессного рентгеновского метода, было изучено значительное число мономинеральных проб блеклых руд, взятых на разной глубине. По этим материалам, обработанным на ЭВМ, была построена трехмерная модель гидротермальной минерализации, которая по форме приближается к эллиптическому конусу. В плане мы имеем фигуру, близкую к эллипсу, к центральной части которого приурочены теннантитовые, а к периферии тетраэдритовые фации блеклых руд (рис. 1). В зоне «теннантитового максимума» (на рис. 1 зона заштрихована) проявление сульфидной минерализации максимально. Это явилось основанием для рекомендаций по направлению геолого-разведочных работ.

Второй пример относительно к Беломорской пегматитовой провинции. Среди разновозрастных пегматитов мусковитовой формации в зависимости от состава вмещающих пород выделяются три группы, образующие следующий фациальный ряд: керамические — комплексные (слюдно-керамические) — слюдяные (мусковитовые). Очень характерна фациальная изменчивость состава слюд (мусковита и биотита), присутствующих в пегматитах всех этих групп. Самая общая закономерность изменения состава этих минералов состоит в том, что по мере перехода от пегматитов керамического типа к мусковитовому в них увеличивается содержание окисного и закисного железа [2,6]. Поэтому данные изучения слюд позволяют уточнить фациальную принадлежность конкретных пегматитовых жил.

К *кристалломорфологическим фациям минералов* целесообразно обращаться в тех случаях, когда изменение внешних условий формирования минеральных индивидов наиболее отчетливо проявляется в изменении их формы. Хорошим примером является циркон, который очень чутко реагирует на изменение химизма среды кристаллизации. Нами наблюдалось резкое изменение формы кристаллов (с удлиненно-призматической на изометрично-дипирамидальную) в пределах одной метасоматической зоны, пересекающей контакт сиенитов с мариуполитами. Общий же анализ материала по этой проблеме показывает явную зависимость габитусной формы кристаллов, равно, как и степени их удлинения, от состава вмещающих пород [1,11,15]. Эта зависимость в самом общем виде проявляется по двум линиям (рис. 2). По мере перехода от кислых пород к щелочным (в ряду гранит — сиенит — нефелиновый сиенит) и от кислых пород к основным и ультраосновным (в ряду гранит — гранодиорит — габбро — перидотит — кимберлит — карбонатит) все более короткопризматические и изометричные по форме кристаллы разрастаются в породах все большей щелочности или основности. Таким

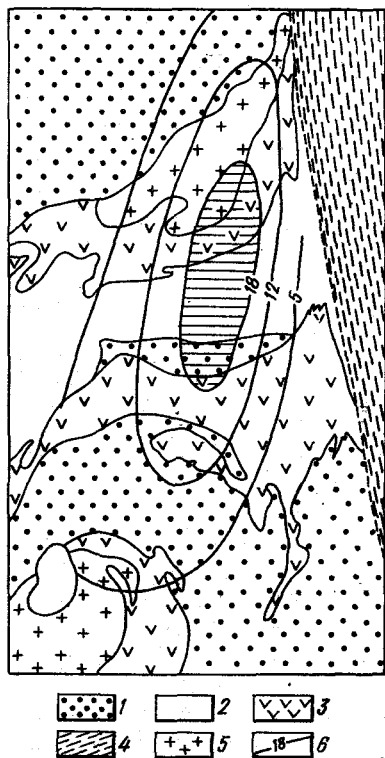


Рис. 1. Схема геологического строения и распространность блеклых руд Березовского рудного района

1 — вулканогенно-осадочные породы; 2 — кремнистые породы; 3 — габбро и ультрабазиты; 4 — гнейсы; 5 — гранитоиды; 6 — изолинии содержания мышьяка в блеклых рудах

золота и ряда других минералов, что позволяет не только выделять кристалломорфологические фации этих минералов, но и использовать полученные данные для решения теоретических и прикладных задач. Весьма перспективным при решении этих задач представляется изучение фациальной кристалломорфологической изменчивости минералов россыпей.

Обращаться к *кристаллофизическим фациям минералов* целесообразно в тех случаях, когда относительно небольшие изменения конституции минералов, вызванные изменением внешних условий (например, повышение содержания изоморфных примесей и примесных атомов в интерстициях кристаллической структуры, формирующих примесно-дефектные центры), приводят к весьма ощутимому изменению их окраски, люминесценции или других физических свойств, а эти свойства легко фиксируются с помощью экспрессных методов выявления. В качестве примера обратимся к изменению кварца при формировании хрустальных гнезд. Такие гнезда возникают в кварцевых жилах и вмещающих их породах как более поздние, наложенные образования в период проявления так назы-

образом, имеет место корреляция между формой кристаллов циркона и особенностями кислотно-основных свойств материнских пород. Выделив определенные по ограничению типы кристаллов циркона, можно осуществить такое минералогическое картирование, которое отразит фациальную изменчивость форм кристаллов в пространстве.

Другим примером фациальной изменчивости форм кристаллов является касситерит. Н. З. Евзиковой [3] по специальной методике детально изучена гидротермальная палеосистема формирования месторождений олова Комсомольского района и других объектов. Ею выделено пять различных по форме типов (в сущности, пять фаций) кристаллов касситерита: I тип — изометрично-дипирамидальный, V тип — удлиненно-призматический, II—IV — промежуточные типы, — которые в объеме отдельных жильных тел (и в рамках систем другого масштаба) располагаются зонально в связи с изменением определенных параметров гидротермального раствора в пространстве. На этой основе решается ряд прикладных задач: протяженность минерализации на глубину, уровень эрозионного среза рудных жил и др.

В настоящее время достаточно полно изучена кристалломорфологическая изменчивость кварца, циркона, касситерита, анатаза, пирита, самородного

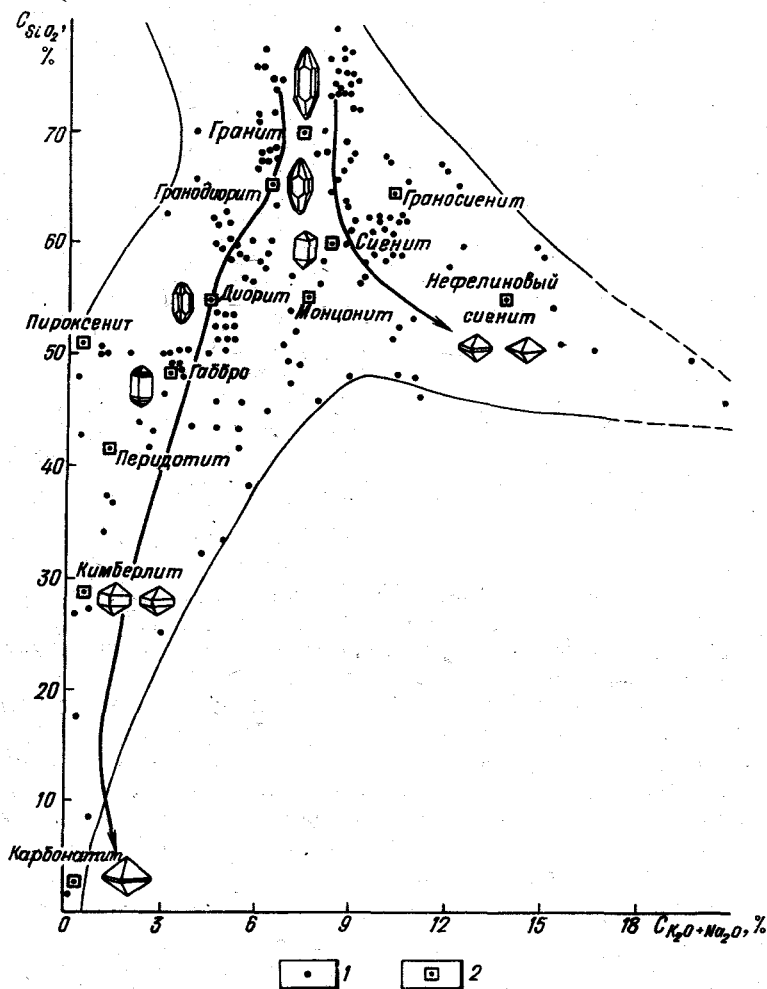


Рис. 2. Морфотипы циркона на точечной диаграмме средних составов изверженных горных пород по Дэли

1 — средние составы изверженных пород; 2 — главные типы пород

ваемого хрустального этапа. В этот период синхронно с образованием хрустальных гнезд формируются околоснездовые измененные породы (хлоритизированные, мусковитизированные, каолинизированные), подвергается преобразованию (преимущественно перекристаллизации) жильный кварц и изменяется кварц вмещающих жилы и гнезда гранитоидов или метаморфических пород. Ореолы изменения породообразующего кварца вокруг гнезд значительно превышают ореолы визуальнo различных околоснездовых изменений, поэтому имеют значительное поисковое значение [16]. Однако очень часто такой измененный породообразующий кварц визуальнo и в шлифах неотличим или трудно отличим от кварца, не подвергшегося изменению. Вместе с тем такое различие легко выявляется с помощью метода индуцированной термолюминесценции (ИТЛ),

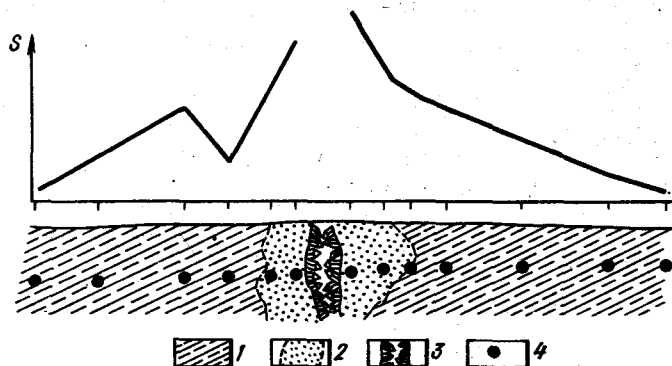


Рис. 3. Постепенная фациальная изменчивость светосуммы S ИТЛ породобразующего кварца по разрезу через хрустальное гнездо
1 — кристаллические сланцы; 2 — зона осветленных пород; 3 — хрустальное гнездо;
4 — места отбора проб

так как в измененном под влиянием хрусталеобразующих растворов кварце отчетливо повышается общая светосумма ИТЛ [17]. Отсюда очевидна целесообразность картирования на местности фаций измененного и неизмененного кварца (рис. 3).

Особое внимание фациальной изменчивости минералов, принадлежащих одностадийной ассоциации, уделяет Н. В. Петровская [7]. Она указывает, что смена в пространстве одновременных выделений минерала, обладающих разными особенностями (например, разным содержанием примесей), может рассматриваться как проявление фациальной зональности месторождений. Такие, отличающиеся друг от друга выделения минерала, не принадлежащие одной генерации, целесообразно рассматривать как разные популяции.

Таким образом, фация минерала — совокупность минеральных индивидов того или иного минерального вида, обладающих близкими особенностями состава и строения (конституции), морфологии и свойств, что связано с близкими $P-T-C$ -условиями их образования. Принадлежность разновидностей минералов к разным фациям определяется отличиями их конституции, морфологии и свойств в пределах, не достигающих уровня перехода одних минеральных видов в другие. Фациальная изменчивость характеристик минералов может быть постепенная (эволюционная) или скачкообразная. В первом случае границы фаций минералов условны и определяются для каждого конкретного случая. Фации минералов часто являются важными элементами поисково-минералогического и минералого-технологического картирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гераничева Г. К., Марин Ю. Б. Причины морфологической изменчивости циркона // Зап. Ленингр. горного ин-та. 1968. Т. 54, вып. 2. С. 56—67.
2. Гродницкий Л. Л. Эволюция химического состава биотита в процессе формирования мусковитовых и мусковит-редкометалльных пегматитов Карелии и Кольского полуострова // Минерал. и геохимия докембрия Карелии / Карел. филнал АН СССР. Петрозаводск, 1970. с. 25—40.

3. Евзикова Н. З. Поисковая кристалломорфология. М.: Недра, 1984, 143 с.
4. Коржинский Д. С. Зависимость минералообразования от глубины // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1937. № 2. С. 369—384.
5. Коржинский Д. С. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М.: Изд-во АН СССР, 1957, 184 с.
6. Мельбаум В. Я., Наливкин А. Б. Химизм мусковита пегматитов — индикатор внешних условий минералообразования // Минералы — индикаторы особенностей вмещающей их среды. Л.: Наука, 1975. С. 76—96.
7. Минералогические индикаторы генезиса эндогенных руд / Под ред. Н. В. Петровской, Г. Н. Шадлуна. М.: Наука, 1987, 230 с.
8. Наливкин Д. В. Учение о фациях: В 2 т. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 1, 534 с.; Т. 2, 393 с.
9. Петрографический словарь. М.: Недра, 1981, 496 с.
10. Руденко С. А. Типоморфные особенности минералов пегматитов // Минералы — индикаторы особенностей вмещающей их среды. Л.: Наука, 1975. С. 9—34.
11. Руденко С. А. Типоморфизм циркона и геологическая практика // Вопр. геохимии и типоморфизма минералов. Л.: Изд-во ЛГУ. 1988. № 8, 160 с.
12. Усов М. А. Фации и формации горных пород // Вопр. геологии Сибири. Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1945. Т. 1. С. 18—27.
13. Фации метаморфизма // Под ред. В. С. Соболева. М.: Недра, 1970, 432 с.
14. Чесноков-Б. В. Минералогическое картирование как метод оценки перспективности рудных районов // Тр. Свердл. горного ин-та. 1975. Вып. 10. С. 27—37.
15. Шафрановский И. И. Цирконы Вишневых гор // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1933. Ч. 62. № 1. С. 218—256.
16. Эшкин В. Ю. Задачи и объекты поисково-минералогического и минералоготехнологического картирования // Методы минерал. картирования и поисковой минералогии / Ленингр. горный ин-т. Л., 1986. С. 9—16.
17. Эшкин В. Ю., Богданова Г. Н., Персиен А. А. Термолюминесценция кварца и ее практическое значение // Физика минералов и проблемы типоморфизма: Материалы конференции / Ленингр. горный ин-т. Л., 1976. С. 16—30.
18. Eskola P. The mineral facies of rocks. Norsk. Geol. Tidsskr. 1921, № 6. P. 17—23.
19. Ramberg H. The origin of metamorphic and metasomatic rocks. Chicago, 1952, 317 p.