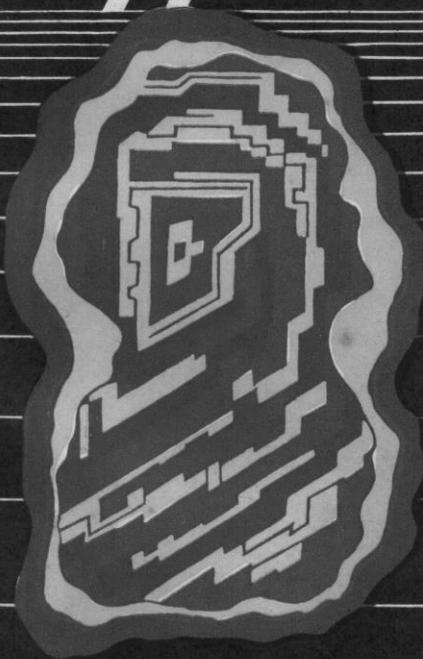


Онтогенія МИНЕРАЛОВ и ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ



КИЕВ
НАУКОВА ДУМКА

УДК 549.0

Онтогения минералов и технологическая минералогия:
Сб. науч. тр. / АН УССР. Ин-т геохимии и физики мине-
ралов; Отв. ред. Мельник Ю.П. - Киев : Наук. думка,
1988. - 228 с.-ISBN 5-12-000185-8.

Сборник посвящен важным направлениям современной
минералогии - онтогении минералов и технологической
минералогии. Рассматриваются общие вопросы теории и
терминологии онтогении минералов, сущность
онтогенического метода. Приведены конкретные примеры
результатов изучения онтогении минералов из
разнообразных по происхождению минеральных комплексов
Украины и других регионов. Обсуждаются пути использования
онтогенической информации для решения минералогических
проблем, повышения эффективности поисковых и разведочных
работ. Излагаются разработки по технологической
минералогии в связи с минералогическим картированием и
переработкой минерального сырья.
Для минералогов и петрографов.
Ил. 65. Табл. 20.

Ответственный редактор Ю.П.Мельник

Утверждено к печати президиумом Украинского
минералогического общества и ученым советом
Института геохимии и физики минералов АН
УССР

Редакция литературы о Земле

1904050000-324
M221 (04)-88

ISBN 5-12-000185-8 (С) Издательство "Наукова думка", 1988

7. Маметов В.М., Галабурда Ю.А. Условия образования кварц-сульфидной минерализации в верхней осадочной толще Береговского месторождения // Минерал. сб. Льв. ун-та. - 1980. - Вып. 2, И 34. - С. 91-94.
8. Марфунин А.С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. - М. : Недра. 1975. - 327 с.
9. Ясинская А.А., Матковский О.И., Разумеева Н.Н. и др. Минералого-генетические типы золоторудных проявлений на Береговском месторождении Закарпатья // Минерал, сб. Дьв. ун-та. -1974. -Вып. 2, № 28. - С. 41-51.

УДК 553,3/9:549:548.5

Б.И.Пирогов, И.В.Холошин, А.Н.Трунин
Криворожский горнорудный институт,
г. Кривой Рог

ОНТОГЕНИЯ АССОЦИАЦИЙ МАГНЕТИТ-АПАТИТ-БАДДЕЛЕИТ МАЛОЖЕЛЕЗИСТЫХ РУД КОВДОРСКОГО КОМПЛЕКСНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Физические свойства минералов, определяющие процессы разделения их при обогащении, тесно связаны с генезисом руд. Такая взаимосвязь прослеживается постоянно на всех стадиях обогащения руд: текстуры и структуры минеральных сростаний (онтогения агрегатов), особенности сростания рудных и нерудных минералов (взаимные проникновения, морфология и характер границ сростания, величина сил сцепления) предопределяют эффективность дробления и измельчения руд, а конституция минералов (взаимосвязанные химический состав и структура) - характер магнитной и гравитационной сепарации. Поведение минералов при флотации существенно зависит от морфологии, распределения включений и дислокаций, покрытия индивидов адсорбционным слоем и т.д.

В связи с этим для успешного управления формированием технологических свойств минералов необходимо познавать их генетическую природу. Несомненно, что один из наиболее, эффективных методов познания генезиса минералов заключен в онтогеническом подходе. Онтогения минералов [1] позволяет проследить эволюцию качеств минералов (морфологию/конституцию, свойства) на фоне конкретной геологоструктурной позиции месторождения, дать ей достоверную генетическую интерпретацию, выявить геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость руд, изучить их изменчивость в пространстве месторождения.

Наиболее эффективен онтогенический метод при оценке технологических свойств руд месторождений сложного генезиса, характеризующихся полиминеральным составом, текстурно-структурной неоднородностью, крайней изменчивостью морфологии, конституции к свойств (в том числе и технологических) основных

рудообразующих минералов. Именно такой сложный генезис имеет Ковдорское бадделеит-апатит-магнетитовое месторождение, которое расположено в юго-западной части одноименного массива и приурочено к зоне интенсивно дислоцированных на тектонические блоки ийолитов, пироксенитов и фенитов. Рудный комплекс слагает крутопадающее тело столбообразной формы. На месторождении выделяется южная часть овальной формы (800x200 м) и северная - апофиза, вытянутая в субмеридиональном направлении (200x500 м).¹

Существенным резервом сырьевой базы Ковдорского ГОКа являются маложелезистые руды месторождения - с содержанием железа от 5 до 15%. Распространены они в краевых частях рудного комплекса, сплошным кольцом окаймляя его снаружи, а также слагают блоки различного размера, в зоне рудного комплекса. Среди них по минеральному составу четко выделяются апатит-силикатные (форстеритовые, флогопитовые) и апатит-карбонатные руды. Ряд минералого-гехимических параметров руд краевой дугообразной зоны месторождения (геологоструктурная позиция, мелкозернистый характер минералов, зависимость состава руд от состава вмещающих пород и др.) указывает на их существенные отличия от маложелезистых руд из зоны рудного комплекса.

Проведенный нами стадийный анализ на уровне рудное тело - агрегат - индивид позволил выявить и достаточно аргументировано описать стадии сингенеза, диагенеза и метаморфизма маложелезистых руд Ковдорского месторождения.

Наиболее ранними на месторождении являются апатит-форстеритовые руды, слагающие периферические части рудного комплекса (их реликты отмечаются в бадделеит-апатит-магнетитовых рудах). Они представляют собой мелкозернистые образования с массивной и брекчиевидной текстурами. Наличие брекчий (округлых обломков вмещающих пород) указывает на участие эксплозивных процессов в формировании руд. Контакт апатит-форстеритовых руд с вмещающими породами четкий, слабо извилистый. В приконтактной зоне содержится большое количество крупных ксенолитов ийолитов и пироксенитов. При удалении от контакта внутрь зоны количество реликтов вмещающих пород и их размер уменьшаются. Параллельно отмечаются уменьшение концентрации силикатов и увеличение доли апатита и магнетита, что приводит к постепенному переходу апатит-форстеритовых руд в бадделеит-апатит-магнетитовые. В этом же направлении закономерно изменяется и гранулометрия минералов, прежде всего форстерита и магнетита: от мелкозернистых выделений на контакте с вмещающими породами до средне-крупнозернистых в зоне контакта с бадделеит-апати-магнетитовыми рудами. Подобную

картину наблюдать, но в меньших масштабах, и на контакте апатит-форстерит-магнетитовых жил и даек во вмещающих породах, причем мощность апатит-силикатной оторочки значительно больше на контакте с ийолитами, чем с пироксенитами. Следовательно, можно вполне определенно говорить о неравномерном и быстром отводе тепла в процессе кристаллизации руд месторождения на контакте с вмещающими породами, что обусловило их мелкозернистое строение. По мере удаления от контакта с вмещающими породами к центральной части месторождения возрастает длительность кристаллизации расплава, что соответственно, определило увеличение размера зерен минералов.

Наиболее полно онтогенез минералов апатит-форстеритовых руд проявилась в особенностях их индивидов и агрегатов. Например, степень идиоморфизма главных минералов руд, как результат последовательности их кристаллизации, уменьшается в ряду: оливин (форстерит) - пироксен (диопсид - геденбергит) - магнетит - апатит, что полностью соответствует ряду Боуэна. Изменение степени идиоморфизма минералов отмечено и в пространстве рудной залежи. Так, в приконтактной зоне с вмещающими породами магнетит и апатит представлены ксеноморфными выделениями, форма которых обусловлена характером межзернового пространства силикатов. По мере приближения к центру залежи идиоморфизм этих минералов все более возрастает, вплоть до образования частично ограненных индивидов. Это связано, очевидно, с уменьшением доли силикатной составляющей и соответственно с увеличением свободного кристаллизационного пространства. Таким образом, можно вполне определенно говорить о том, что апатит-силикатные руды месторождения - типичные магматические образования на границе вмещающих пород с рудным расплавом и что основным фактором, определяющим особенности вещественного состава руд, является геологическая позиция. С одной стороны, это обуславливает количество и состав силикатной составляющей благодаря ассимиляции различных вмещающих пород, а с другой - определяет качественные характеристики минералов. К примеру, ксеноморфные выделения магнетита благодаря быстрой кристаллизации (принцип "закалки") при резком понижении температуры характеризуются относительно однородным составом. По мере удаления от контакта с вмещающими породами временной градиент кристаллизации расплава постепенно возрастает, что определяет появление структур распада твердых растворов (магнетит - шпинель, магнетит-ильменит). Наиболее четко это отражается в изменении свойств минерала: от периферии рудной залежи к центру закономерно уменьшаются точки Кюри, термо-ЭДС, коэрцитивная сила, увели-

Эволюция качеств магнетита и апатита на сингенетической и метаморфической стадиях формирования

Характеристика минералов	Генерация					
	Апатит-форстеритовая			Магнетит-apatит-форстеритовая	Магнетит-apatит-карбонатная	
	магнетит I	магнетит II	apatит	apatит	магнетит	apatит
Точка Кюри, °С	572	564	-	-	570	-
Термо-ЭДС, мкВ/°С	-59	-51	-	-	-54	-
Твердость, МПа	7089	6470	-	-	6445	-
Коэрцитивная сила, А/м	65	60	-	-	60	-
Содержание, %						
Fe магн	66,9-69,7	64-67	-	-	65-68	-
F	-	-	0,23	0,26	-	0,35
ΣTR_2O_3	-	-	0,93	1,13	-	1,43
Mg	-	-	0,21	0,16	-	0,10
SrO	-	-	0,17	0,20	-	0,27
Размер фракции, мм	-	-	0,02-0,30	0,10-0,55	-	0,30-0,50

чивается твердость (см. таблицу).

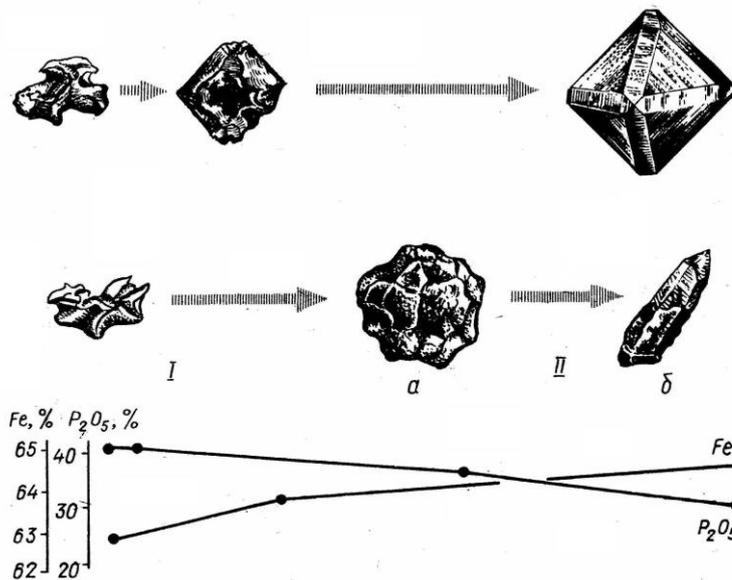
В целом стадия сингенеза апатит-форстеритовых маложелезистых руд, соответствующая их первичной сингенетической кристаллизации, проявилась в довольно равномерном распределении минерализации в пределах контура месторождения и обусловила стабильность параметров вещественного состава первичных руд.

В ксенолитах вмещающих пород наблюдается весьма активный процесс метасоматического замещения исходных минералов агрегатом мелких, различно ориентированных чешуек бледно-зеленого флогопита, в результате чего сформировались так называемые слюдиты. Гнёздообразные агрегаты флогопита встречаются также в массе апатит-силикатной маложелезистой руды, где замещают уже форстерит. По всей вероятности, процесс ослюденения связан с дальнейшей постепенной эволюцией физико-химических параметров среды минералообразования, тектоники, что привело к соответствующей смене фазового состава силикатов в рамках качественно новой стадии формирования маложелезистых руд - стадии диагенеза, несколько усложнившей первичную однородность состава руды и положившей начало ее вторичным изменениям.

Маложелезистые руды, обогащенные слюдами, отличаются повышенной вязкостью, что ухудшает раскрытие сростков в ходе рудоподготовки.

Более мощные преобразования первичной апатит-форстеритовой маложелезистой руды отмечаются в зонах, подвергнутых интенсивной тектонической проработке, где могли возникнуть новые рудоподводящие структуры. Такие зоны характеризуются развитием жильных, реже изометричных агрегатов апатита мощностью от 1-2 до 30 см, а также значительно более крупных (до нескольких метров), сложных по морфологии тел и жил существенно карбонатного, преимущественно кальцитового, состава. Как правило, апатитовые, в меньшей степени карбонатные тела имеют четкие контакты с апатит-силикатной рудой и развиты обычно в пределах одних и тех же тектонических зон, где иногда накладываются друг на друга. При этом пространственное расположение минералов, особенности взаимоотношений между ними, данные декрепитации указывают на более позднее выделение карбонатной фазы.

Жильный апатит представляет собой относительно крупные (0,1-0,55 мм), идиоморфные и гилидоморфные, изометричные зерна. В объеме они представляют собой относительно крупные



Эволюция качеств магнетита и апатита и связь ее с обогатимостью маложелезистых руд.

Стадии: I - сингенетическая, Д - метаморфическая (а - апатитизация, б - карбонатизация)

(0,1-0,55 мм), идиоморфные и гипидиоморфные, изометричные зерна. В объеме они напоминают многогранные полиэдра (см. рисунок). Зерна прозрачны, бесцветны, иногда имеют бледно-зелёный оттенок. Скопления апатита образуют мозаичную микроструктуру в ассоциации с мелкими (десятые доли миллиметра), округлыми индивидами форстерита, реже гипидиоморфными зернами магнетита. Зерна форстерита чаще всего расположены на контакте индивидов апатита, образуя с ними сложный для раскрытия тип сростания. Это обстоятельство может способствовать повышению магнезиальности апатитового концентрата.

Индивиды бадделеита, попадая в апатитовый агрегат, несколько укрупняются, возрастает роль короткостолбчатых, двуконечно развитых кристаллов, в отличие от изометричного бадделеита из апатит-форстеритовой руды.

Ноздреватый микрорельеф, возникающий в процессе метасоматического роста, образован отпечатками округлых зерен форстерита в поверхности полиэдров апатита. Наличие такого микрорельефа, а также сложные декрептограммы свидетельствуют о наложенном процессе кристаллизации жильного апатита, близком к гидротермально-метасоматическому (apatитизации руд), который затронул в основном силикатную составляющую и имел, вероятно, несколько стадий. В результате сформировалась новая магнетит-apatит-форстеритовая разновидность (генерация) маложелезистых руд (см. рисунок).

В телах маложелезистых руд карбонатного (кальцитового) состава силикаты представлены мелкими округлыми реликтами кристаллов в промежутках между индивидами кальцита, что может быть следствием их фронтального замещения - наложенной карбонатизации ранее сформировавшихся разновидностей маложелезистой руды. Замена основного ассоциирующего минерала - форстерита кальцитом сопровождается существенным изменением всех свойств магнетита, апатита и бадделеита, для которых четко фиксируются возрастание размеров индивидов и переход от грануломорфного роста к кристалломорфному (см. рисунок). Так, магнетит представлен изометричными гипидиоморфными зернами или хорошо ограненными кристаллами с проявлением граней октаэдра, реже ромбододекаэдра. В агрегате такие индивиды неполногранны. Микровключения шпинели характеризуются увеличением размера зерен, разнообразием морфологии выделений, неравномерным (иногда зональным) распределением их в объеме индивидов магнетита [3].

Отличительной чертой морфологии апатита в массе кальцита является самое разнообразное сочетание простых форм (призмы, дипирамды, пинакоида) с преимущественным развитием граней призмы. Даже в пределах малого объема руды могут встречаться

индивиды округлого, эллипсоидального, сторбчатого до игольчатого облика

Вытянутыми, длиннопризматическими кристаллами представлен также бадделент.

Можно предположить, что резкая смена физико-химической обстановки, связанная с очередным этапом тектогенеза карбонатного вещества и его активным взаимодействием с субстратом привела к собирательной перекристаллизации магнетита, апатита и бадделеита. Важно подчеркнуть, что поднятие карбонатного расплава-раствора сопровождалось прежде всего подновлением уже имеющихся трещин и в меньшей степени образованием новых. В связи с этим карбонатизации чаще подвергался крупнозернистый жильный апатит, что обусловило крупнозернистость апатита в массе кальцита.

Таким образом, процесс наложенной карбонатизации привел к формированию магнетит-apatит-карбонатных маложелезистых руд. Помимо краевой дугообразной зоны крупные тела этих руд встречаются в центральной части месторождения, где связаны с зоной кольцевых разломов (карбонатитовое ядро месторождения). Онтогенез промышленных минералов магнетит-apatит-карбонатных руд центральной зоны отличается своей спецификой и подробно рассмотрена в работе [2].

Появление в ассоциации с апатитом карбонатов, близких с ним по флотоактивности, резко ухудшает качество апатитового концентрата.

Процессы апатитизации и последующей карбонатизации привели к значительной неоднородности параметров вещественного состава, текстурно-структурных признаков маложелезистых руд прежде всего в региональном плане. В совокупности они характеризуют метаморфическую стадию развития руд.

Онтогенез ассоциации промышленно важных минералов полностью отражает всю сложность и последовательность формирования маложелезистых руд месторождения от стадии сингенеза (кристаллизации магматического расплава) до стадии метаморфизма (процессов апатитизации и карбонатизации). При этом выявляется согласованная, однонаправленная эволюция магнетита, апатита и бадделеита в четкой связи с пространственно-временной изменчивостью процессов рудообразования на месторождении. Эволюция индивидов минеральных фаз влечет за собой эволюцию на уровне минеральных агрегатов (текстура, структура) и далее на уровне рудных тел (закономерная генерация маложелезистых руд). В результате происходит соответствующее изменение технологических свойств как отдельных рудных минералов, так и руды в целом.

Отмеченные особенности онтогении ассоциации магнетит-апатит-бадделейт могут служить достаточно надежной минералогенетической основой для проведения геолого-технологического картирования маложелезистых руд месторождения.

1. Григорьев Д.Ш, Жабин А.Г. Онтогения минералов. Индивиды. - М. Т Наука, 1975. - 339 с.

2. Пирогов Б.И., Холошин И.В. Минералогическое картирование комплексных, руд Ковдорского месторождения на основе, изучения магнетита // Минералогическое картирование рудоносных территорий. - Свердловск, 1985. - С. 88-96.

3. Холошин И.В. Эволюция магнетитов Ковдорского железорудного месторождения и ее связь с обогатимостью руд. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. - Москва. МГРИ, 1984. - 24 с.

УДК 549:622.7

Р.И.Пирогов, В.Н.Тарасенко

Криворожский горнорудный институт, г. Кривой Рог

ЗНАЧЕНИЕ ОНТОГЕНИИ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И
ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
МАГНЕТИТОВЫХ РУД МИХАЙЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При разработке технологических схем для руд даже хорошо изученных однотипных месторождений каждый раз приходится сталкиваться с большими трудностями, так как технологические свойства минералов весьма существенно варьируют в пределах одного месторождения [1]. Это связано с широким спектром природной гранулометрии индивидов и агрегатов минералов, всегда содержащих включения, примеси, часто покрытых различными по составу пленками, подвергающимися в процессе раскрытия определенным механическим воздействиям при дроблении и измельчении. Если учесть наличие нескольких генераций и разновидностей минералов, различающихся морфологией выделений, особенностями конституции (изменением состава, степенью упорядоченности, дефектностью, мозаичностью), фиксируемых в различиях топоанатомических срезов, характере раскалывания минералов при измельчении с формированием преимущественных кристаллографических плоскостей, широкого спектра открытых частиц и сростков, то совершенно очевидно порой существенное изменение технологических свойств одних и тех же минералов в пределах различных участков месторождения.

Поэтому изучение технологических свойств минералов - магнитных, электрических, гравитационных, флотационных и других - приобретает особо важное значение в связи с вовлечением в обогащение весьма бедных руд различных генетических типов, требующих тонкого, измельчения и глубокого многостадийного обогащения.