Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, 1985, т. 104

УДК 552.1.11:553.2.21

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ИХ МЕСТО В ЛИТО- И РУДОГЕНЕЗЕ

С.А.РУДЕНКО

В трудах, затрагивающих проблемы лито- и рудогенеза, значимость явлений перекристаллизации оценивается самым различным образом. Более того, сама сущность этих явлений трактуется по-разному, поэтому обсуждение целесообразно предварить рассмотрением содержания применяемых нами понятий и терминов.

Под с в о б о д н о й к р и с т а л л и з а ц и е й понимается рост минералов в водоемах или в полостях среди горных пород (руд), т.е. в подвижной среде расплава, раствора или газа. Если достоверно установлено, что компоненты, поступающие в полость в виде раствора, выщелочены из окружающих пород, то речь может идти о процессе п е р е о т л о ж е н и я. В отличие от этого рост минералов в твердой среде относится к процессам п р е о б р а з о в а н и я. Последние протекают в присутствии поровых растворов, способствующих перегруппировке вещества; диффузия в твердой среде имеет резко подчиненное значение. В преобразовании выделяются м е т а с о м а т и ч е с к и е процессы (осуществляющиеся с привносом и выносом вещества) и процессы п е р е к р и с т а л л и з а ц и и (происходящие, в первом приближении, без привноса вещества). Уточняя последнее понятие отметим, что при перекристаллизации может иметь место привнос (и вынос) вполне подвижных (H_2O и CO_2) компонентов и в некоторой мере изоморфных (в том числе рассеянных) элементов.

Осуществляя типизацию процессов перекристаллизации, мы учитываем не только химические и физические особенности преобразования вещества, но и (вслед за Д.П.Григорьевым [5]) масштаб системы (минеральный индивид, минеральное тело и т.д.). Опираясь на литературные источники [2, 5, 10, 12, 19, 29] и личный опыт [20-24], можно выделить перекристаллизацию минеральных индивидов и агрегатов. К перекристаллизации минеральных индивидов относятся рекристаллизация, перекристаллизация по принципу Рикке, собирательная перекристаллизация; к перекристаллизации минеральных агрегатов – метаморфическая перекристаллизация и собирательная перекристаллизация.

Под р е к р и с т а л л и з а ц и е й имеется в виду процесс образования мелких индивидов за счет более крупных, предварительно деформированных. Процесс идет с уменьшением свободной энергии в результате снятия деформационных напряжений.

В условиях динамометаморфизма может происходить п е р е к р и с т а л л и з а ц и я минеральных индивидов горных пород и руд по п р и н-

ципу Рикке. При направленном давлении в этом случае кристаллы растворяются со стороны приложенного давления и растут за счет освобождающегося вещества с противоположных сторон. В результате меняется форма индивидов, а породы или руды приобретают сланцеватость.

В природе широко распространены явления собирательной перекристаллизации в индивидах. При этом форма и размеры исходных минеральных индивидов пород и руд не меняются, но часто синхронно протекают процессы структурного упорядочения, распада твердых растворов, а иногда и двойникования. Эти явления наиболее детально изучены на примере калинатровых полевых шпатов [13, 20, 24, 30]. В результате этих процессов однофазная система превращается в трехфазную (калишпат + + альбит + гематит) или чаще в двухфазную (калишпат + альбит). Побудительной причиной перекристаллизации и здесь является стремление системы к минимуму свободной энергии [30]. Около примесных ионов (в нашем случае *Na* и *Fe*), отличающихся по размеру от ионов минерала-хозяина (в нашем примере – K), наблюдается поле упругих напряжений, поэтому более крупные ионы перемещаются в область растяжения структуры, а меньшие – в область сжатия [4]. Движущей силой дальнейшей сегрегации ионов, с соответствующим укрупнением выделений новых фаз, является стремление системы к уменьшению поверхности раздела между фазами. Согласно нашим наблюдениям, эволюция пертитов в природных условиях осуществляется в два главных этапа [20, 24]. На первом этапе в результате снижения температуры во всем объеме индивида („регионально") вследствие диффузии ионов формируются пертиты распада, а на втором этапе – более крупные сегрегационные пертиты. Главная причина формирования сегрегационных пертитов – образование тектонически ослабленных зон в кристаллах и воздействие просачивающихся вдоль них растворов. В этом случае ионы перемещаются и вследствие диффузии, и путем фильтрации. Для завершающей стадии эволюции пертитов характерно накопление альбитовых сегрегаций в промежутках между зернами калиевого полевого шпата и соседними зернами, т.е. за пределами индивидов. Выделяемые Д.П.Григорьевым [5] процессы перекристаллизации индивидов по принципу Кюри и перекристаллизации с разделением на части мы рассматриваем в качестве разновидностей собирательной перекристаллизации.

Рассмотренные процессы перекристаллизации индивидов нередко одновременно представляют собой процессы перекристаллизации агрегатов, так как захватывают достаточно большое число минеральных индивидов.

Обратимся теперь к процессам перекристаллизации агрегатов. Такие процессы могут осуществляться как с изменением, так и без изменения минерального состава пород или руд. Первые будем называть метаморфической перекристаллизацией, а вторые – собирательной. Метаморфическая перекристаллизация агрегатов представляет собой, как известно, процесс преобразования одной минеральной ассоциации в другую, устойчивую в изменившихся условиях внешней среды. Как указывалось, она может сопровождаться дегидратацией и декарбонатизацией пород. В процессе собирательной перекристаллизации агрега-

тов, который, как правило, завершается укрупнением зерна, могут вовлекаться мономинеральные и полиминеральные породы и руды. В первом случае обычно возникают равномернозернистые агрегаты, а во втором - неравномернозернистые. Степень такой неравномернозернистости может быть разной, в зависимости от того, в какой мере в процесс перекристаллизации вовлечены разные минералы. При этом возможен вариант, когда укрупняются зерна лишь одного минерала. Только этот вариант Д.П.Григорьев называет собирательной перекристаллизацией, относя остальные к процессам укрупнения зерна.

У с л о в и я, ф а к т о р ы и м е х а н и з м ы п е р е к р и с т а л л и з а ц и и. Как уже отмечалось, течение процессов перекристаллизации определяется стремлением минеральной системы к равновесному состоянию, т.е. состоянию, отвечающему минимуму свободной энергии. Что касается факторов перекристаллизации, то, с определенной долей условности, их можно подразделить на внешние и внутренние. К внешним относятся температура, давление и наличие порового раствора. Применительно к геологическим объектам следует говорить о тектоническом факторе и факторе времени. Роль тектонического фактора двояка. С ним связано возникновение путей для поступления поровых растворов и вместе с тем появление деформаций в минералах, способствующих их перекристаллизации. Имеющиеся данные [19, 29] свидетельствуют о том, что процессы перекристаллизации осуществляются на протяжении значительных отрезков времени, редко измеряемых днями или месяцами и значительно чаще сотнями, тысячами и миллионами лет. Поэтому даже при небольших значениях градиента концентрации, давления или других, способствующих течению перекристаллизации, параметров длительность процесса будет способствовать интенсивности его проявления. Внутренние факторы определяются особенностями самих минеральных индивидов и агрегатов. К ним относятся: наличие ростовых неоднородностей (дефектов) в кристаллах (вакансий, дислокаций, примесных атомов), присутствие включений посторонних минералов, деформированное состояние вещества. Устранение таких неоднородностей, осуществляемое путем перекристаллизации, способствует переходу системы в состояние, отвечающее минимуму свободной энергии [10, 19, 30]. Важным внутренним фактором перекристаллизации агрегатов является поверхностная энергия кристаллических зерен, которая уменьшается с увеличением их размера, поэтому перекристаллизация агрегатов связана с растворением более мелких зерен и ростом за их счет более крупных. Этот процесс также сопровождается освобождением энергии, поэтому идет самопроизвольно в соответствии с законом Фрейндлиха - Оствальда. Вместе с тем В.А.Николаевым и В.В.Доливо-Добровольским выполнены расчеты, показывающие, что для агрегатов, сложенных зернами размером, большим 0,1 мм, различия растворимости мелких и крупных зерен столь малы, что не обеспечивают достаточно интенсивной диффузии вещества от меньших зерен к бо́льшим даже с учетом длительности геологических процессов. Однако нельзя не согласиться с мнением Н.Л.Добрецова о том, что процесс будет иным при инфильтрации порового раствора: „В этом случае происходит непрерывное перемещение растворов, ранее взаимодействовавших с мелкими зернами, к более крупным и наоборот -

от крупных зерен к мелким. Такое „перемешивание" значительно ускоряет процесс перекристаллизации, особенно при достаточно интенсивной инфильтрации растворов" [6, с.150]. Кроме того, следует учитывать, что перекристаллизации агрегатов должно способствовать наличие анизотропии внешних условий (существование анизотропного энергетического поля) в зоне перекристаллизации [12].

Перекристаллизация может осуществляться в условиях как прогрессивного, так и регрессивного изменения внешних факторов. Так, метаморфическая перекристаллизация при формировании метаморфических парапород осуществляется в условиях повышения температуры и давления. В таких же условиях происходит собирательная перекристаллизация (своего рода отжиг) известняков с образованием мраморов. Напротив, собирательная перекристаллизация, проявленная на постмагматическом этапе становления магматогенных комплексов, осуществляется в регрессивных условиях.

При обсуждении механизма перекристаллизации следует принимать во внимание особенности размера, формы и внутреннего строения бластокристаллов. В метаморфических породах значительного размера (иногда до 25 см по наибольшему измерению) достигают, как известно, порфиробласты граната, ставролита, дистена и других минералов. А.В.Скропышевым описаны бластокристаллы кальцита размером до 10 см, разросшиеся в массе известняка [28], а Н.П.Юшкиным [32]-бластокристаллы гипса того же размера. Еще крупнее кристаллы кварца и полевых шпатов в пегматитовых телах, текстурные, структурные и другие особенности которых позволяют рассматривать их как результат бластеза.

По-разному протекает процесс перекристаллизации мономинеральных и полиминеральных агрегатов. При собирательной перекристаллизации мономинеральных агрегатов в идеальном случае реализуется стремление системы к возникновению равновесной структуры границ зерен. В этом случае формируются весьма совершенные гранобластовые агрегаты даже таких минералов, как пироксены, амфиболы и им подобные [7]. Однако зачастую предшествующая перекристаллизации тектоническая проработка исходного субстрата бывает проявлена неоднородно, вследствие чего даже в мономинеральных породах в пределах одних участков разрастаются более крупные ксеноморфные, а в других - идиоморфные бластокристаллы. Что касается полиминеральных образований, то еще А.Н.Заварицкий на примере колчеданных месторождений Урала показал, что сульфиды, по сравнению с силикатами, обладают большей способностью к перекристаллизации [8]. Затем В.Д.Никитин [15], характеризуя процесс перекристаллизации гранитов в пегматиты, указывал, что возникающие при этом структурные сочетания полевых шпатов и кварца определяются разной подвижностью (растворимостью) этих минералов, изменяющейся с изменением физико-химических условий. Как важный „внутренний фактор" собирательной перекристаллизации минеральных агрегатов в щелочных комплексах нами рассматривалась д и ф ф е р е н ц и а л ь н а я с п о с о б н о с т ь м и н е р а л о в к п е р е к р и с т а л л и з а ц и и, связанная с их различной растворимостью [22]. По этой причине степень укрупнения

зерна различных минералов оказывается разной. По той же причине происходит метаморфическая дифференциация вещества с образованием прослоев (или гнезд) биминерального и даже мономинерального состава, в том числе лейкократовых и меланократовых.

В процессе перекристаллизации полиминеральных агрегатов часто возникают порфиробласты минералов, обладающих большей способностью к перекристаллизации. Нередко они заключают массу включений мелких зерен менее подвижных минералов. Часто эти включения или их более высокие концентрации приурочены к определенным зонам роста бластокристаллов. Изменение состава бластокристаллов в процессе роста нередко проявляется в зональности их строения. Все это свидетельствует о преимущественно инфильтрационном способе перемещения поровых растворов, способствующих перекристаллизации, а присущий бластокристаллам идиоморфизм указывает на то, что они (как и метакристаллы) разрастаются окруженные тонкой пленкой раствора. Зональность бластокристаллов свидетельствует также о пульсационном режиме просачивания поровых растворов. Характерная особенность кристаллов, возникающая при перекристаллизации, состоит в вытеснении посторонних минеральных включений (глинистых, углистого вещества и других) за пределы кристаллов. Лишь в периоды, когда кристаллизационное давление граней (ребер или вершин) оказывается меньше значения, необходимого для отталкивания примесей, последние сохраняются в пределах соответствующих зон или пирамид роста.

Явления перекристаллизации распространены в природе очень широко. Рассмотрим их место в различных процессах минералообразования.

П р о ц е с с ы с е д и м е н т а ц и и и л и т и ф и к а ц и и. Явления перекристаллизации особенно типичны для стадий диагенеза и эпигенеза. Здесь, прежде всего, следует назвать широко распространенное явление перекристаллизации коллоидов. Так, надо полагать, в частности, что диагенетическая перекристаллизация ферро-, ферри- и силикогелей предшествует образованию метаморфогенных месторождений железистых кварцитов.

Перекристаллизация весьма типична для илистых отложений химического и органогенного происхождения, но иногда наблюдается у обломочных образований (карбонатные пески) и глинистых осадков [27]. Наиболее подвержены перекристаллизации карбонатные и кремнистые породы, в меньшей степени - глинистые. Весьма крупные кристаллы при этом возникают на стадии эпигенеза. Так, на этой стадии, например, подвергается перекристаллизации мелкозернистый известняк, слагающий гальки конгломератов, и известковый цемент этих галек. В результате возникают друзы перекристаллизации с длиной отдельных индивидов кальцита 5-10 см [27].

Широко распространены процессы собирательной перекристаллизации ископаемых солей. Они захватывают буквально все соляные минералы и обуславливают образования крупных кристаллов (блоков) галита, сильвина, карналлита, гипса и многих других минералов. Течению этих процессов способствуют, наряду с гигроскопической и пленочной влагой, соляные растворы, захороненные в порах и более крупных кавернах соляных залежей [9].

Процессы перекристаллизации наблюдаются в сталактитах и сталагмитах. Таким путем, например за счет переработки радиально-лучистых агрегатов

кальцита, формируются зерна (монокристаллы), достигающие в поперечнике 2-4 см. Широко распространены процессы перекристаллизации агрегатов кристаллов льда при диагенезе и особенно метаморфизме снежных покровов и ледников (собирательная перекристаллизация; сублимационный и режеляционный виды перекристаллизации [31]).

Процессы метаморфизма осадочно-вулканогенных образований. Переход от окаменения к метаморфизму фиксируется по появлению новых минералов. Таким образом, при метаморфизме первая стадия превращения горных пород состоит в метаморфической перекристаллизации. На этой стадии в зависимости от состава исходных пород и степени метаморфизма формируются те или иные разновидности метаморфических пород. Уже на этой стадии нередко образуются порфиробластовые структуры, причем порфиробласты разрастаются после формирования основной ткани. Доказательство этому мы видим в зонально-секториальном строении порфиробластов, в которых по зонам и пирамидам роста часто располагаются включения минералов основной ткани.

В последнее время внимание обращено на вторую стадию - стадию собирательной перекристаллизации. На этой стадии формируются так называемые метаморфогенные сегрегационные пегматоиды. Эти породы описаны нами в Кочкарском районе на Южном Урале [17] и в Мамско-Чуйском районе Восточной Сибири [25]; они специально исследовались в метаморфических комплексах Алтае-Саянской складчатой области [14]. Минеральный состав метаморфогенных пегматоидов тождественен составу метаморфических пород (кварц-биотитовый, кварц-биотит-гранатовый, кварц-биотит-ставролитовый и т.д.). Тела этих пегматоидов имеют форму жил или гнезд. В процессе их формирования происходит укрупнение минеральных индивидов пород и метаморфическая дифференциация вещества. В результате гнезда или жилы приобретают зональное строение. Например, образуются кварцевые жилы с биотитовой оторочкой или гнезда со сменой зон (от центра к периферии): мономинеральная андалузитовая, плагиоклаз-кордиеритовая, биотит-кордиеритовая. Особенно характерны примеры образования крупных идиоморфных бластокристаллов высокоглиноземистых минералов (длиной до 5-7 см) за счет сегрегации вещества мелких ксенобластов. Этот процесс сопровождается освобождением бластокристаллов от включений других минералов, столь характерных для мелких ксенобластов. Сегрегационные метаморфогенные пегматоиды особенно свойственны породам, метаморфизованным в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма. Они формируются в самом конце периода прогрессивного метаморфизма, характеризуя переломный момент в его развитии.

Рассмотренные явления весьма типичны для образования метаморфизованных и метаморфических месторождений железа, марганца, золота, меди, никеля и урана, а также мрамора, графита, наждака и т.д. В качестве примера рассмотрим железистые породы. В зависимости от состава исходного субстрата и в соответствии со ступенями метаморфизма (зеленосланцевой, амфиболитовой, гранулитовой) можно выделить два ряда перекристаллизации [1]:

Скрытокристаллические кварц-магнетит-гематитовые джеспилиты	→	Среднезернистые кварц-магнетитовые джеспилиты	→	Крупнозернистые (нередко полосчатые) кварц-магнетитовые джеспилиты
Тонкокристаллические кварц-серицит-хлорит-гематитовые сланцы или роговики	→	Мусковит-амфибол-магнетитовые роговики	→	Крупнозернистые пироксен-гранат-магнетитовые породы

Процессы постмагматического преобразования пород первично магматических комплексов. Собирательная перекристаллизация, являющаяся процессом, закономерно сменяющим кристаллизацию расплава, в той или иной мере свойственна всем типам изверженных пород. Однако более интенсивно она проявлена в кислых и щелочных породах и осуществляется под действием высокотемпературных растворов (отчасти остаточных, но главным образом наложенных), которые находятся в равновесии с минералами породы. Мы здесь сталкиваемся с „нейтральной стадией", которая соответствует, по Д.С.Коржинскому [10], в сущности, „ранней щелочной стадии" постмагматического этапа. Во времени процесс перекристаллизации осуществляется эволюционно и заключается в постепенном укрупнении минеральных индивидов и метаморфической дифференциации вещества. В соответствии с этим были выделены ряды перекристаллизации, примеры которых для разного типа пород [15, 21, 22, 25, 26] приводятся ниже, причем первое место в каждом ряду принадлежит исходной магматической породе:

Мелкозернистый мариуполит	→	Гнейсовидный мариуполит	→	Полосчатый мариуполит	→	Пегматоидный мариуполит	→	Щелочной пегматит
Мелкозернистый миаскит	→	Пегматоидный миаскит	→	Щелочной пегматит				
Мелкозернистый ийолит	→	Линзовидный полосчатый ийолит-уртит	→	Блоковый ийолит-уртит	→	Пегматоидный уртит	→	Щелочной пегматит
Мелкозернистый гранит	→	Пегматоидный гранит (гранит-пегматит)	→	Гранитный пегматит				

Процесс перекристаллизации пород иногда сопровождается выносом магнезиально-железистых компонентов, в этом случае он перерастает в сегрегационно-метасоматический процесс. На кислотной и поздней щелочной стадиях этот процесс сменяется процессом образования метасоматитов и рудоотложением, а на заключительной нейтральной стадии постмагматического этапа — иногда вновь собирательной перекристаллизацией.

Особого внимания заслуживает процесс образования гранитных пегматитов. Представления о ведущей роли процессов перекристаллизации в их формировании получили признание после работ Д.С.Коржинского, А.Н.Заварицкого и особенно В.Д.Никитина [15, 16]. В последнее время эти представления были подкреплены целым рядом новых геолого-минералогических данных [25].

Не обращаясь здесь к аргументации этих представлений, рассмотрим специфику преобразования пород на разных стадиях образования керамических и мусковитовых пегматитов, имея в виду нижеследующий ряд перекристаллизации:

Исходный гранит → Графический пегматит → Апографический пегматит → Блоковый пегматит → Пегматит пегматоидной и „антиписьменной" структур

При формировании пегматита графической структуры полевые шпаты обладают большей способностью к перекристаллизации, чем кварц. В дальнейшем, с понижением температуры, способность кварца к перекристаллизации возрастает. В этих условиях формируются породы апографической, а затем и блоковой структур. Завершается процесс образованием пород пегматоидной структуры, которым свойственно наиболее полное пространственное обособление полевых шпатов и кварца, причем крупные индивиды кварца иногда содержат вростки полевого шпата. В последнем случае возникает своего рода „антиписьменная" (антиграфическая) структура.

Изменение относительной подвижности кварца и полевых шпатов связано, по В.Д.Никитину [15], с усилением роли натрия в растворах по мере эволюции процесса пегматитообразования. Развивая этот тезис, Ю.Б.Марин, основываясь на составе газово-жидких включений в кварце пегматитов, полагает, что первоначально растворы, способствующие перекристаллизации, характеризовались высокой активностью калия, а в дальнейшем возрастала активность натрия с соответствующим усилением интенсивности перекристаллизации кварца. Исследуя одноактные образования, возникающие за счет перекристаллизации гранитов при воздействии на них какой-то одной порции эволюционирующих во времени растворов, он обосновал следующий возрастной ряд перекристаллизации хрусталеносных пегматитов [18]:

Порфиробласты шпата с пойкилитовыми включениями кварца → Порфиробласты шпата с венцовым расположением вростков кварца → Порфиробласты шпата, окруженные зонами кварца → Пегматоидные образования → Блоковая порода с идиоморфными индивидами кварца → Порфиробласты кварца в граните

Метасоматические процессы. Тесная связь метасоматических процессов и процессов перекристаллизации неоднократно подчеркивалась рядом исследователей [3, 10, 11, 18, 20]. Так, по В.Г.Боголепову [3], в формировании метасоматитов имеют место два периода: псевдоморфный и тропоморфный. В течение первого периода происходит метасоматическое замещение тех или иных исходных пород. При этом вновь образованная метасоматическая порода имеет мелкозернистое или плотное (скрытокристаллическое) строение и зачастую в значительной мере представлена псевдоморфозами замещения по первичным минералам. На протяжении второго периода происходит процесс собирательной перекристаллизации метасоматитов. Такая по-

следовательность минералообразования описана в скарнах, грейзенах и метасоматитах других типов. Выше уже отмечались обратные возрастные отношения перекристаллизации и метасоматоза. Суммируя имеющиеся данные, заметим, что зоны перекристаллизации могут формироваться раньше метасоматитов [I5, 2I, 22], как бы предваряя собственно метасоматическое минералообразование; они могут возникать одновременно с метасоматитами, формируясь на фронте метасоматического процесса [II]; и быть постметасоматическими, формируясь из „отработанных" после метасоматоза растворов. Зоны и гнезда перекристаллизации в телах метасоматитов распространены достаточно широко и свойственны метасоматитам самого разного типа.

Выводы

Широкое проявление процессов перекристаллизации в породах и рудах самого разного происхождения свидетельствует о необходимости их учета при моделировании процессов минералообразования.

Практическое значение этих процессов сводится к следующему:

I. В результате перекристаллизации формируются многие метаморфизованные и метаморфические месторождения металлических и неметаллических полезных ископаемых и залежи наиболее богатых руд в них.

2. Зоны перекристаллизации в телах магматических и метаморфических горных пород, являющиеся долгоживущими зонами циркуляции постмагматических растворов, благоприятны для локализации более позднего метасоматического минералообразования и рудоотложения, поэтому могут быть использованы в качестве поискового признака. Такое же поисковое значение имеют зоны перекристаллизации, локализованные в телах метасоматитов регионального распространения.

3. Перекристаллизованные изверженные породы могут представлять собой полезное ископаемое (например, гранитные пегматиты керамического типа). В качестве полезного ископаемого выступают также некоторые метасоматиты, подвергшиеся перекристаллизации (например, флогопитовые зоны в месторождениях щелочно-ультраосновной формации или в алданских метасоматитах).

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцев Я.Н. Метаморфогенные месторождения. - В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., Недра, 1968, с. 648-712.

2. Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А. и др. Текстуры и структуры руд. М., Госгеолтехиздат, 1958. 435 с.

3. Боголепов В.Г. Два периода метасоматического минералообразования. - Зап. ВМО, 1965, ч. 94, вып. 2, с. 149-163.

4. Бородин С.А. Растворимость примесей в присутствии дислокаций. - Kristall und Technik, 1968, 3, № 1, с. 5-8.

5. Григорьев Д.П. Перекристаллизация минералов. - Зап. ВМО, 1956, ч. 85, вып. 2, с. 147-170.

120978

Ленинградский Горный Институт
ГЛАВНАЯ БИБЛИОТЕКА

6. Добрецов Н.Л., Ревердатто В.В., Соболев В.С. и др. Фации метаморфизма. М., Недра, 1970. 432 с.

7. Жабин А.Г. Стереологические закономерности строения зернистого мономинерального агрегата, достигшего равновесия границ зерен. – В кн.: Геохимия, минералогия, петрология. Докл. советских геологов XXУ сессии МГК. М., Наука, 1976, с. 204-222.

8. Заварицкий А.Н. О генезисе колчеданных месторождений. – Изв. АН СССР, серия геологическая, 1943, № 3, с. 3-18.

9. Иванов А.А. Основы геологии и методика поисков, разведки и оценки месторождений минеральных солей. М., Госгеолиздат, 1953. 204 с.

10. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических прочесов. – В кн.: Основные проблемы в учении о магматических рудных месторождениях. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 332-452.

11. Ланда Э.А. О связи процессов метасоматизма и перекристаллизации. – В кн.: Критерии рудоносности метасоматитов. Алма-Ата, изд. КазИМС, 1972, ч. 1, с. 59-67.

12. Ланда Э.А. К вопросу об условиях образования метакристаллов и бластокристаллов. Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, 1979, т. 287, с. 43-56.

13. Марфунин А.С. Полевые шпаты – фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение. М., Изд-во АН СССР, 1962. 275 с.

14. Мельгунов С.В., Кулик Н.А., Бакуменко И.Т. Минералогия и геохимия метаморфогенных сегрегационных пегматоидов. Новосибирск, Наука, 1975. 91 с.

15. Никитин В.Д. Процессы перекристаллизации и метасоматоза в слюдоносных и керамических пегматитах. – Зап. ЛГИ, 1952, т. 27, вып. 2, с. 107-157.

16. Никитин В.Д. Пегматитовые месторождения. – В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., Недра, 1968, с. 84-151.

17. Никитин В.Д., Руденко С.А., Эшкин В.Ю. Место хрусталеобразования среди процессов изменения метаморфических горных пород. – Зап. ЛГИ, 1971, т. 60, вып. 2, с. 7-18.

18. Пегматиты (минералогия, генезис и промышленная оценка). Л., изд. ЛГИ, 1972. 313 с.

19. Природа метаморфизма. М., Мир, 1967. 376 с.

20. Руденко С.А. Полевые шпаты керамических пегматитов Южной Карелии. – Зап. ЛГИ, 1952, т. 27, вып. 2, с. 159-196.

21. Руденко С.А. Генезис и структурные особенности мариуполитов. – Зап. ЛГИ, 1962, т. 43, вып. 2, с. 3-25.

22. Руденко С.А. Основные закономерности процесса формирования пегматоидных пород и пегматитов в щелочных массивах. – В кн.: Минералогия и генезис пегматитов. Докл. советских геологов XXII сессии МГК. М., Недра, 1965, с. 271-288.

23. Руденко С.А. Скелетный рост кристаллов в породах и рудах. – Зап. ВМО, 1966, ч. 95, вып. 2, с. 158-168.

24. Руденко С.А. Типоморфные особенности минералов пегматитов. – В кн.: Минералы – индикаторы особенностей вмещающей их среды. Л., Наука, 1975, с. 9-14.

25. Руденко С.А., Иванов М.А., Романов В.А. Пегматитовый процесс в свете новых геолого-минералогических данных. – В кн.: Геология и генезис пегматитов. Л., Наука, 1983, с. 113-130.

26. Руденко С.А., Кузнецов Ж.М. Метасоматиты иолит-уртитового и ювит-рисчорритового комплексов Хибинского щелочного массива. – В кн.: Метасоматизм и рудообразование. М., Наука, 1984, с. 76-84.

27. Рухин Л.Б. Основы литологии. М.-Л., Гостоптехиздат, 1953. 671 с.

28. Скропышев А.В. О перекристаллизации кальцита и распределении механических примесей в кристаллах. - Зап. ВМО, 1961, ч. 90, вып. 5, с. 521-534.

29. Судовиков Н.Г. Региональный метаморфизм и некоторые проблемы петрологии. Л., Изд-во ЛГУ, 1954. 550 с.

30. Чемпнесс П.Е., Лоример Г.В. Распад твердых растворов в силикатах. - В кн.: Электронная микроскопия в минералогии. М., Мир, 1979, с. 173-201.

31. Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. М., Изд-во АН СССР, 1955. 477 с.

32. Юшкин Н.П. О перекристаллизации гипса сероотлагающими растворами. - Зап. ВМО, 1964, ч. 95, вып. 1, с. 93-96.