Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LX, вып. 2, 1971 г.

РОЛЬ ТРЕЩИН ОПЕРЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ В КВАРЦИТАХ

Б. Н. Шаронов

Ведущая роль разрывной и трещинной тектоники в локализации и размещении месторождений пьезокварца на территории хрусталеносной провинции Приполярного Урала, так же как и рудных тел — хрустальных гнезд — в пределах месторождений, неоднократно отмечалась исследователями [3, 5, 6, 7, 10]. В то же время каждое из этих месторождений, несмотря на общность происхождения и единую систему факторов контроля, характеризуется присущими только ему особенностями структуры, рисунком пространственного размещения рудоконтролирующих и рудовмещающих элементов, выявление которых имеет решающее значение для выбора наиболее экономичной и эффективной методики разведки.

Представляет интерес одно из месторождений пьезокварца на Приполярном Урале, где в наиболее чистом виде проявились многоэтапность процесса формирования структуры месторождения и главенствующая роль трещин оперения в локализации кварцевых жил и хрустальных гнезд.

Расположено это месторождение на западном склоне Уральского хребта в приосевой его части и приурочено к выходам кварцитов, залегающих в толще метаморфических пород верхнего протерозоя и слагающих однородную пачку мощностью около 200 *м*. Их структура — средне- и крупнозернистая, сложение массивное. Они почти нацело состоят из изометричных и неправильно-округлых зерен кварца и содержат в ничтожном количестве серицит, хлорит, циркон, турмалин, апатит, магнетит и гематит. Кварциты согласно подстилаются и перекрываются пачками разнообразных кристаллических сланцев, представленных преимущественно хлорит-серицит-кварцевыми разностями, с редкими прослоями и линзами филлитов и кварцитов. Таким образом, геологический разрез месторождения характеризуется наличием пачек пластичных слюдистых сланцев, мощность которых измеряется несколькими сотнями метров, и заключенными между ними жесткими и хрупкими кварцитами.

Толща метаморфических пород смята в ряд линейных сильно сжатых складок шириной 200—400 *м*. Они вытянуты в направлении, близком к меридиональному, с отклонением простирания отдельных складок в обе стороны от меридиана на 20—30°. В антиклинорной структуре этой части Урала отмечаемые складки относятся к третьему—четвертому порядку. Вследствие того, что некоторые из них имеют волнистые шарниры, эрозионный срез вскрывает кварциты в ядрах антиклиналей

в виде удлиненных линз. К одной из них приурочено рассматриваемое месторождение.

Широко развиты в районе дайки диабаза. Они обнаруживаются в кварцитах и сланцах, но распределены неравномерно. Наиболее густые скопления их приурочиваются к ядрам антиклиналей, испытавших резкое воздымание шарнира. Простирание даек меридиональное или близкое к нему, падение крутое ($\angle 40$—$70°$), восточное и восточное-юго-восточное. Таким образом, дайки располагаются в плане либо параллельно складкам, либо секут их под острыми углами.

Антиклиналь, вмещающая месторождение, по форме приближается к изоклинали, запрокинутой на юго-запад ($\angle 70$—$80°$), и простирается в северо-западном направлении (340°). Шарнир складки волнистый, что обуславливает резкие изменения ширины выходов кварцитов и переклинальные замыкания их. Наиболее резкий перегиб шарнира наблюдается в южной части месторождения, где кварциты круто погружаются под вышележащие сланцы. Второй перегиб шарнира фиксируется в средней части линзы по сокращению ширины выхода кварцитов. В самой северо-западной части месторождения шарнир антиклинали после пологого воздымания снова начинает погружаться. Таким образом, в данной антиклинали обнаруживаются два куполовидных выступа, которые наиболее насыщены дайками диабаза и несут в себе все промышленные хрусталепроявления (рис. 1).

В области переклинального замыкания антиклинали и на крыльях ее широко развиты осложняющие складки, ширина которых колеблется от 10 до 100 *м*. Образование этих складок указывает, что породы, за счет которых возникли кварциты, в период складчатых движений в условиях интенсивного сжатия обладали способностью к пластическому течению.

Кварциты сильно трещиноваты. Трещины разбивают кварциты на остроугольные блоки размером от 0,3 до 3 *м* по одному из измерений. Наибольшая густота трещин наблюдается в области куполовидных выступов антиклинали. Среди них отчетливо выражаются следующие системы трещин (рис. 1, *А*): сколовые (*I* — аз. пад. 70—115°, $\angle 50$—$60°$; *II* — аз. пад. 250—260°, $\angle 60°$; *III* — аз. пад. 80°, $\angle 80$—$90°$; *IV* — аз. пад. 190—200°, $\angle 70$—$90°$; *V* — аз. пад. 155°, $\angle 50°$) и отрывные (*VI* — аз. пад. 290°, $\angle 25°$).

Эта трещиноватость не несет минерализации и является фоновой. Она генетически связана с формированием данной антиклинали и отражает хрупкую деформацию кварцитов, испытавших изгиб со скольжением выше- и нижележащих сланцевых толщ во время складчатых движений.

Одним из основных элементов структуры месторождения являются дайки диабаза (см. рис. 1). Они выполняют близмеридиональные сколовые трещины с крутым восточным и юго-восточным падением, стенки которых несут борозды и царапины, ориентированные почти по линии падения (рис. 1, *Б*). Эта система трещин, генетически связана с формированием всей складчатой зоны, т. е. с близширотным сжатием мощной (несколько километров) слоистой толщи, что подтверждается значительной протяженностью (до 600 *м*) и выдержанностью, параллельным расположением к осям складок в плане. Кроме того, эта система трещин обычно не реагирует на местные отклонения простирания отдельных складок в зоне, благодаря чему приобретает по отношению к ним в плане секущее положение, как правило, под очень острым углом, что наблюдается на месторождении. В таком случае дайки диабаза переходят из кварцитов в сланцы с изменением простирания и величины угла наклона. По своей ориентировке дайковмещающие трещины близки системе *I* неминерализованных трещин (рис. 1, *А*).

Мощность даек изменчива и редко превышает 2 *м*. В их плоскости встречаются пологие изгибы. Иногда можно видеть острые сопряжения и разветвления их, особенно на выклинивании по простиранию. В дайках встречаются линзовидные включения кварцита, расположенные параллельно их зальбандам.

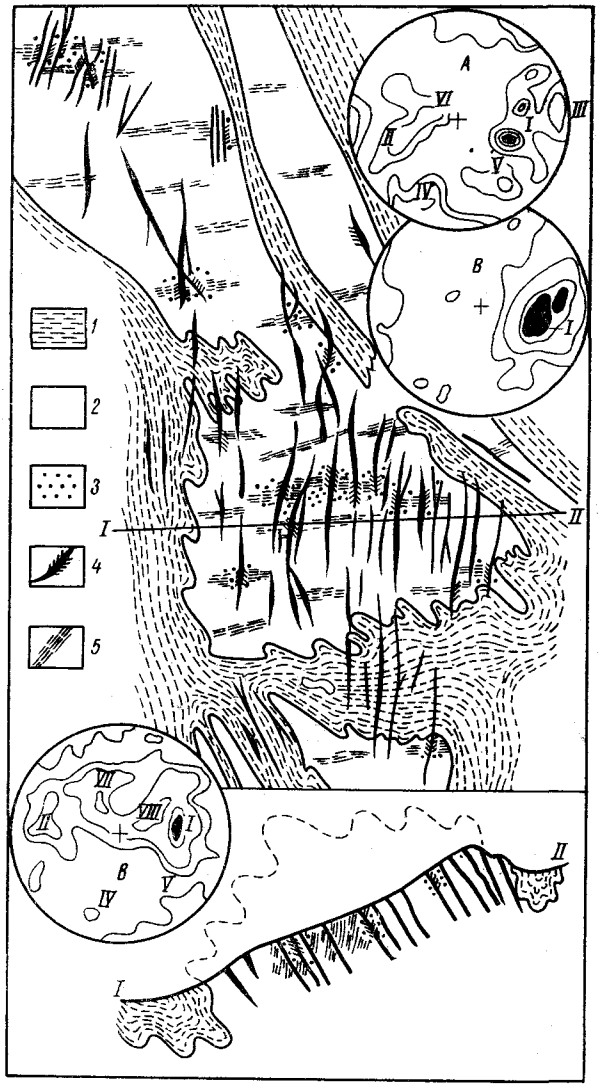


Рис. 1. Геологическая схема месторождения горного хрусталя в кварцитах. Размещение хрустальных гнезд контролируется тектоническими зонами рассланцованных диабазов и сопряженными с ними жильными узлами в трещинах оперения:

1 — кристаллические слюдистые сланцы; *2* — кварциты; *3* — гидротермально измененные кварциты; *4* — дайки рассланцованного диабаза с жильными узлами; *5* — зоны поперечной трещиноватости.
Диаграммы элементов залегания: *А* — неминерализованные трещины в кварцитах, 242 замера (*I—VI* — системы трещин); *Б* — дайки диабаза, 200 замеров; *В* — кварцевые жилы в жильных узлах 100 замеров (*I* — согласные кварцевые жилы в дайках диабаза, выполняющие трещины кливажа; *II, IV, V* — единичные кварцевые жилы в фоновых трещинах; кварцевые жилы в трещинах оперения: *VII* — сколовых и *VIII* — отрывных), плотность замеров на диаграммах <1—2—5—10%>

Во многих дайках диабаз рассланцован, что указывает на возобновление тектонических движений в их плоскости после окончательного оформления складчатой структуры (блоковые подвижки). Такие дайки являются обычными разрывными нарушениями. Трещины кливажа в рассланцованных дайках диабаза в большинстве случаев располагаются параллельно зальбандам даек, реже — под острым углом к ним или S-образно.

Судя по взаимоотношению двух последних форм кливажа с зальбандами даек, смещение блоков пород по ним носило взбросо-сдвиговый характер с преобладанием вертикальной составляющей движения над горизонтальной. Горизонтальное смещение висячих блоков пород по дайкам осуществлялось в северном направлении.

Взбросо-сдвиги вызывали не только рассланцевание диабаза, но и образование трещин оперения в кварцитах лежачего и висячего боков даек. Впоследствии трещины оперения и кливажа явились местом локалиции кварцевых жил и хрустальных гнезд.

Каналами движения гидротермальных растворов, т. е. рудораспределяющими элементами структуры, служили дайки, что подтверждается широким гидротермальным метаморфизмом рассланцованного диабаза, превращаемого вблизи хрустальных гнезд в альбит-хлоритовые сланцы или в глинисто-хлоритовую массу. Кварциты около измененных диабазов содержат довольно много хлорита, серицита, рутила, гематита и других минералов, заметно увеличивают пористость и становятся рыхловатыми.

Трещины оперения развиваются непосредственно от контактов даек и быстро затухают по мере удаления от них. Кварцевые жилы, выполняющие их, небольших размеров: 10—15 *м* по падению и простиранию и мощностью до 0,5 *м*. Кварцевые жилы в трещинах оперения обычно встречаются группами, располагаясь около даек наподобие ветвей у ствола дерева. Такие группы кварцевых жил объединяются в «жильный узел». В жильных узлах обнаруживается от 3 до 20 кварцевых жил на расстоянии 0,2—2 *м* друг от друга. Среди трещин оперения по форме кварцевых жил легко выделяются сколовые и отрывные: кварцевые жилы в сколовых трещинах имеют правильную клиновидную форму, а в отрывных — извилистую и сферически-волнистую конфигурацию. Жильные узлы, как правило, располагаются в местах искривления даек по простиранию и падению.

Как известно [8, 9 и др.], возникновение трещин оперения обусловлено напряжениями, связанными с перемещением масс горных пород по плоскости разрывного нарушения. Напряжение убывает по нормали в обе стороны от плоскости разрывного нарушения, в этих же направлениях происходит затухание трещин оперения, что является одним из наиболее характерных признаков, позволяющих отличить этот тип тектонических трещин от других. Пространственное положение трещин оперения относительно плоскости разрывного нарушения определяется целым рядом факторов: направлением смещения масс пород, их физико-механическими свойствами, степенью однородности пород в перемещающихся блоках, конфигурацией, сместителя, временем течения деформации и др.

В изотропной среде сопряжение трещин оперения и разрывного нарушения подчиняется следующему правилу. Трещины скалывания — в идеальном случае образуется две системы их — располагаются относительно плоскости сместителя либо параллельно (первая система), либо под углом к нему (вторая система). Острый двугранный угол, образуемый плоскостями сместителя и второй системы трещин скалывания, открыт в сторону движения блока пород, а перпендикуляр, восстановленный на ребре этого острого двугранного угла и лежащий в плоскости сместителя, будет отвечать направлению движения данного блока пород. Трещины отрыва ориентированы так, что острый двугранный угол, образуемый трещиной отрыва и плоскостью сместителя, открыт в сторону, противоположную движению блока.

Соотношение трещин оперения и даек на изучаемом месторождении полностью отвечает этому правилу. Так, трещины отрыва падают в ту же сторону, что и плоскости даек, но под более пологими углами (10—30°), а сколовые — навстречу под углом 30—40°. Первые чаще

всего наблюдаются в лежачем боку даек, а вторые — в висячем, хотя нередко можно видеть сколовые трещины наряду с отрывными в лежачем боку дайки и напротив — отрывные со сколовыми в висячем боку. В последних случаях вследствие пересечения сколовых и отрывных трещин нередко возникают оперяющие зоны дробления, в которых также локализуется кварц.

Оперение висячего бока является более мощным и встречается значительно чаще, чем в лежачем боку. В количественном отношении сколовые трещины резко преобладают над отрывными (рис. 1, *В*). Все кварцевые жилы месторождения имеют северо-северо-восточное скло-

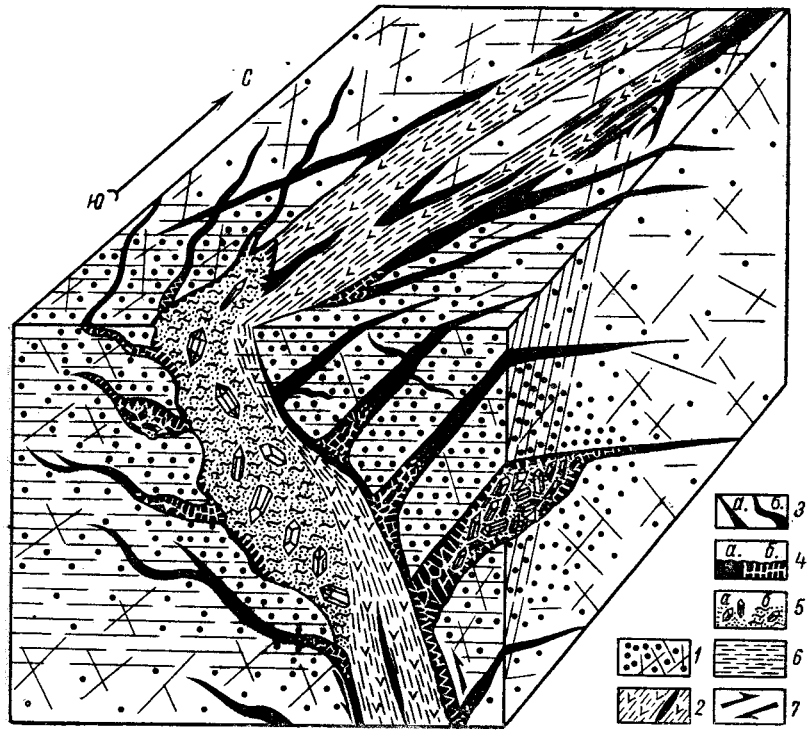


Рис. 2. Жильный узел с хрустальными гнездами:

1 — гидротермально измененный кварцит; *2* — рассланцованный и гидротермально измененный диабаз с согласными кварцевыми жилами; *3* — кварцевые жилы в трещинах оперения (сколовых *а* и отрывных *б*); *4* — жильный кварц (мелкозернистый *а* и перекристаллизованный крупнокристаллический шестоватый *б*); *5* — хрустальные гнезда (первого *а* и второго *б* типов); *6* — поперечная трещиноватость; *7* — направление смещения блоков кварцитов по дайкам в момент заложения трещин оперения

нение под углом 10—15°, а их плоскости (трещины оперения) на диаграмме (рис. 1, *В*) образуют пояс вращения вокруг линии простирания даек, несколько сужающийся в направлении склонения. Отмеченные закономерности пространственного расположения кварцевых жил около даек еще раз подтверждают взбросо-сдвиговый характер движений по ним в период заложения трещин оперения, установленный по трещинам кливажа.

На месторождении довольно часто встречается классическая форма «оперенных» структур именно в том виде, в каком их впервые описал Г. Клоос. Возникает такая оперенная структура, когда в висячем боку дайки развиваются преимущественно трещины скалывания, а в лежачем боку — трещины отрыва (рис. 2).

Хрустальные гнезда являются последними по времени образованиями. Их появлению предшествовали тектонические движения, вызвавшие образование зон поперечной трещиноватости и дробление жильного кварца. Зоны поперечной трещиноватости представлены сериями сближенных параллельных прямолинейных сколовых трещин с расстоянием между ними 2—15 *см.* Мощность зон варьирует в пределах от 1 до 15 *м*, а протяженность достигает 150 *м*. Они простираются в направлении, близком к широтному, и имеют вертикальное падение. Зоны совершенно не минерализованы, но рассекают кварцевые жилы и дайки. Заметных смещений по ним не наблюдается.

На месторождении известно два типа хрустальных гнезд, резко отличающихся друг от друга формой, гнездовым выполнением и качеством кристаллов горного хрусталя. Несмотря на эти различия, все хрустальные гнезда образовались в течение одной стадии минерализации. Пространственно они тяготеют к жильным узлам, а в их пределах приурочиваются обычно к местам пересечения жил и даек поперечными зонами трещиноватости.

Гнезда первого типа располагаются в плоскости кварцевых жил, образуя в какой-либо части их линзовидную камеру, возникшую за счет растворения дробленого жильного кварца и трещиноватых кварцитов. Полость такого гнезда обычно выполнена кристаллами горного хрусталя и их обломками, часто регенерированными, в промежутках между которыми обнаруживается немного серицита. Кристаллы почти не содержат твердых включений, но чрезвычайно сильно поражены трещинами, свилями и двойниками.

Гнезда второго типа располагаются в лежачих боках даек и образуются за счет переработки и растворения как диабаза, так и кварцита. Их форма неправильная. Полость гнезда выполнена пластичной глинисто-хлоритовой массой, в которой рассеяны регенерированные обломки и кристаллы горного хрусталя. Кристаллы слабо трещиноваты, но содержат обильные включения хлорита и тонкоигольчатого рутила. Количество твердых включений в головках кристаллов резко сокращается, и они часто имеют бездефектные области.

Сравнение хрустальных гнезд двух типов позволяет сделать следующие выводы: 1) химический состав и физико-механические свойства вмещающих гнезда пород оказывают значительное влияние на качество кристаллов кварца, определяя появление в них минеральных включений, кристаллизационных и механических дефектов; 2) существует тесная зависимость минерального состава хрустальных гнезд от химического состава вмещающих пород, указывающая на то, что гидротермальные растворы извлекали из них многие компоненты, в том числе и кремнезем, необходимые для кристаллизации минералов гнезд [1, 2, 4]; 3) миграция вещества в процессе формирования хрустальных гнезд была незначительной в пространстве и, по сути дела, кристаллизация горного хрусталя происходила *in situ* за счет кремнезема, выщелачивавшегося из породы в непосредственной близости от растущего кристалла. Доказательством этого могут служить следующие факты.

На стенках гнезд первого типа очень редко встречаются прикрепленные кристаллы, хотя их полость довольно плотно забита ими, следовательно, полость хрустального гнезда формировалась при растворении дробленых кварцитов и жильного кварца и питании высвобождающимся кремнеземом кристаллов, зародившихся на его стенках. По мере выщелачивания и переотложения кремнезема стенки отступали, увеличивая объем гнезда, а кристаллы отваливались и, накапливаясь в полости гнезда, продолжали расти. В конечном итоге полость гнезда оказывалась плотно заложенной регенерированными, часто двухголовыми кристаллами горного хрусталя.

В гнездах второго типа, расположенных так, что часть гнезда находится в кварците, а часть — в диабазе, наблюдается такая закономерность. Кристаллы горного хрусталя, нараставшие на измененном диабазе, содержат обильные включения хлорита, рутила и других минералов, а находящиеся рядом, в 10—20 *см* от них кристаллы, нараставшие на кварците, совершенно не содержат минеральных включений, в состав которых входят компоненты диабаза TiO_2, FeO, Al_2O_3.

Таким образом, в пределах месторождения размещение кварцевых жил и хрустальных гнезд (рудных тел) носит закономерный характер и определяется системой взаимосвязанных геологических факторов, которые могут рассматриваться в качестве основных элементов его структуры *. К их числу относятся: а) состав и строение слоистой толщи (соотношение пород с разными литологическими, химическими и физико-механическими свойствами); б) складчатые сооружения; в) разрывные и трещинные нарушения; г) магматические тела (интрузии и дайки); д) постмагматические образования (зоны гидротермального изменения пород, кварцевые жилы, хрустальные гнезда); е) послегнездовая тектоника.

Антиклиналь, вмещающая месторождение, входит в состав складчатой зоны, образование которой связано, по крайней мере, с двумя эпохами диастрофизма — каледонской (рифейской?) и герцинской. Планы деформации этих двух эпох были довольно близкими, и поэтому каледонские складки в герцинское время испытали в основном усложнение. Так как складки в ордовикских отложениях за пределами месторождения имеют северо-восточное, близкое к меридиональному простирание, можно полагать, что сжимающие силы в герцинское время действовали в близширотном направлении. С ними связано появление куполовидных воздыманий в отдельных складках и развитие в них дайковмещающих протяженных сколовых трещин глубокого заложения. При этом куполовидные поднятия, сложенные сильно дислоцированными кварцитами и перекрытые мощной толщей слабопроницаемых сланцев в последующий постмагматический этап развития месторождения ** служили благоприятными пликативными структурными ловушками и коллекторами гидротермальных минералообразующих растворов.

Как следует из приведенного описания структуры одного из месторождений горного хрусталя, расположенного в доордовикских кварцитах, основной закономерностью пространственного размещения на его территории хрустальных гнезд является их приуроченность к протяженным линейным зонам разрывных тектонических нарушений. В пределах этих зон хрустальные гнезда тяготеют к жильным узлам, где, благодаря наличию пологопадающих, сопряженных с дайками трещин оперения и выполняющих их кварцевых жил, создавались условия для формирования хрустальных гнезд. Так как этот процесс сопровождался чрезвычайно интенсивной гидротермальной переработ-

---

* Под структурой рудного (хрусталеносного) месторождения [7] понимаются такие особенности геологического строения (в том числе тектоники) и процессов минерализации, которые обусловили закономерное размещение в нем генетически родственных рудных тел.

** Необходимо отметить, что история формирования структуры месторождения характеризуется периодической сменой тектонических условий сжатия и растяжения. В периоды преобладающего близширотного сжатия последовательно во времени образовались линейные складки, куполовидные усложнения их и взбросовые разрывные нарушения, а также взбросо-сдвиги по дайкам и оперяющие их трещины, трещины дробления жильного кварца и зоны поперечной трещиноватости. Периоды сжатия разделяются периодами преобладающего близширотного растяжения среды, в течение которых происходило раскрытие тектонических трещин, сопровождавшееся гравитационным сбрасообразованием, и выполнение их также последовательно во времени диабазом, жильным кварцем и горным хрусталем.

кой вмещающих пород, заключающейся в основном в десиликации их, то такие измененные породы могут служить достаточно объективным поисковым признаком, а степень гидротермальной переработки и объем пород, подвергшихся переработке, будут играть роль критерия перспектив жильных узлов на горный хрусталь. Эти признаки и критерии приобретают особенно важное значение при поисках и разведке слепых жильных узлов в контролирующих тектонических зонах.

По данным этого и других месторождений в пределах складчатой зоны в целом промышленные скопления хрустальных гнезд обнаруживаются, как правило, на участках продольного изгиба шарниров антиклинальных складок, образующих куполовидные поднятия, где в кварцитах наблюдается максимальная трещиноватость, обилие крупных разрывов и даек и усиливается экранирующее действие вышележащей сланцевой толщи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карякин А. Е. Вмещающие породы — источник материала для минералов хрустальных гнезд. Зап. ЛГИ, т. XXX, вып. 2, 1955.

2. Карякин А. Е. Об источнике кремнезема кварцевых жил и хрустальных гнезд Приполярного Урала. Тр. ВНИИП, т. II, вып. 1, 1958.

3. Карякин А. Е. Пути движения растворов и механизм образования хрустальных гнезд Приполярного Урала. Зап. ЛГИ, т. XXXV, вып. 2, 1959.

4. Карякин А. Е. О влиянии вмещающих пород на минеральный состав хрусталеносных кварцевых жил. Тр. ВНИИП, т. IV, вып. 1, 1960.

5. Карякин А. Е. О механизме зарождения и раскрытия трещин, вмещающих хрусталеносные кварцевые жилы Приполярного Урала. Тр. ВНИИП, т. VII, 1962.

6. Карякин А. Е. Понятие о месторождениях полезных ископаемых, рудных полях и их структурах. Зап. ЛГИ, т. LII, вып. 2, 1967.

7. Карякин А. Е., Смирнова В. А. Структуры хрусталеносных полей. Недра, 1967.

8. Королев А. В., Шехтман Н. А. Структурные условия размещения послемагматических руд. Недра, 1965.

9. Пэк А. В. Трещинная тектоника и структурный анализ. АН СССР, 1939.

10. Смирнова В. А. Роль трещинной тектоники в образовании и размещении хрусталеносных кварцевых жил Приполярного Урала. Тр. ВНИИП, т. V, вып. 2, 1960.