

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ЗОН ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Доктор геол.-мин. наук А. Е. КАРЯКИН
(Ленинградский горный ин-т)*

В течение многих лет (1930—1950 гг.) считалось, что в пределах хрусталеносных провинций кварцевые жилы и гнезда с кристаллами кварца размещаются спорадически и, как правило, поодиночке. Поэтому запасы пьезооптического сырья не подсчитывались, а разведочно-добычные работы носили малоэффективный сезонный характер. Однако дальнейшими геологоразведочными работами и главным образом тематическими исследованиями (1950—1970 гг.) было доказано, что кварцевые жилы и гнезда с кристаллами кварца встречаются не спорадически и не поодиночке, а образуют крупные хрусталеносные зоны, расположение которых подчинено определенным закономерностям [2—5; 7—11; 13].

Полевыми и лабораторными исследованиями было доказано [6], что во всех хрусталеносных провинциях широкое развитие имеют четыре системы тектонических жило- и гнездовмещающих трещин: две системы трещин скалывания (согласные и секущие) и две системы трещин отрыва (поперечные — почти вертикальные и продольные — почти горизонтальные). Закономерности расположения тектонических жило- и гнездовмещающих трещин находятся в прямой зависимости от ориентировки основного плана деформации. Наиболее типична ориентировка эллипсоида деформации осью *A* по вертикали, осью *B* по горизонтали (вдоль простиранья складчатости), а осью *C* — поперек складчатых и разрывных структур. В некоторых хрусталеносных полях ось *A* имеет горизонтальное положение, а ось *B* — вертикальное. Положение оси *C* — всегда поперек складчатости (рис. 1).

При изучении тектонических условий формирования оперяющих трещин было выделено [6] два структурных типа хрусталеносных кварцевых жил (I и II) соответственно двум вариантам в расположении плана деформации (см. рис. 1). В первом варианте (I тип) оперяющие секущие трещины скалывания по простиранью всегда залегают параллельно тектоническим зонам, а падение их противоположно падению зон. Угол падения оперяющих трещин скалывания изменяется от 45 до 75°. Трещины отрыва в этом варианте имеют почти горизонтальное залегание. При таком расположении оперяющих тектонических трещин

эллипсоид деформации осью *A* ориентирован вертикально, осью *B* — горизонтально, а осью *C* — поперек зоны разлома. Во втором варианте тектонические зоны разлома также залегают параллельно согласным трещинам скалывания, а секущие трещины оперения по отношению к разлому располагаются под острым углом в плане и параллельно в разрезе (см. рис. 1, б). Эллипсоид деформации по сравнению с первым вариантом повернут вокруг оси *C* на 90°. При этом ось *A* расположена горизонтально (по простиранию разлома), а ось *B* — вертикально.

Оперяющие трещины отрыва в любом варианте делят тупой угол между трещинами скалывания пополам.

При заложении оперяющих трещин по первому варианту происходили подвижки взбросового характера, а по второму — сдвигового. Раскрывались оперяющие трещины при растяжении среды, когда жесткие блоки начинали оседать (скользить вниз) по тектоническим зонам. Сбросовые подвижки, происходившие по основным разломам, вызывали опускание блоков непосредственно по оперяющим трещинам, что способствовало раскрытию этих трещин и формированию в приоткрывавшихся полостях кварцевых жил и хрустальных гнезд.

Наиболее распространены во всех хрусталеносных провинциях кварцевые жилы I типа. Это секущие кварцевые жилы, обладающие высокой степенью хрусталеносности. Во многих хрусталеносных полях, располагающихся в сланцах, кварцевые жилы этого типа развиты очень широко.

Диагонально-секущие кварцевые жилы II типа встречаются тоже довольно часто и по степени хрусталеносности не уступают жилам I типа.

В течение многих лет считалось, что главные особенности геологического строения хрусталеносных провинций и закономерности размещения в них месторождений пьезооптического кварца обусловлены только складчатыми структурами. Однако при изучении структур хрусталеносных полей и при более тщательном анализе всего фактического материала установлено, что в размещении магматических и постмагматических образований решающую роль играли долгоживущие разломы, которые образуют линейно вытянутые тектоно-магматические пояса. Тектоно-магматические пояса любой хрусталеносной провинции расположены главным образом в приподнятых центральных блоках антикли-

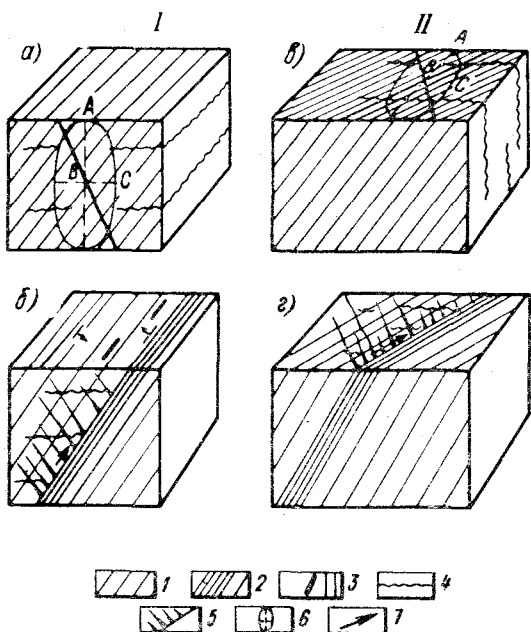


Рис. 1. Два варианта расположения оперяющих трещин около зон интенсивного рассланцевания горных пород

1 — залегание горных пород; 2 — зоны интенсивного рассланцевания; 3, 4, 5 — соответственно трещины скалывания, отрыва, оперения; 6 — эллипсоид деформации с осями *A*, *B*, *C*; 7 — направление движения блоков горных пород

норных структур, имеющих, в свою очередь, более сложное внутриблоковое строение. Центральные части антиклинорных структур, претерпевшие дифференцированные блоковые поднятия, отчетливо выделяются широким распространением древних пород, преимущественно докембрийского или нижнепалеозойского возраста, на фоне которых линейными зонами размещаются интрузивные массивы [12].

В пределах тектоно-магматических поясов хрусталеносная минерализация развивается только в тех участках, которые прорваны самыми поздними интрузивами, дайками и последайковыми разрывными нарушениями и характеризуются интенсивным проявлением гидротермального метаморфизма. Поэтому в хрусталеносных провинциях наблюдается сочетание древних метаморфических толщ, составляющих антиклинорные поднятия, с молодыми интрузивными породами. Это справедливо и в отношении хрусталеносных кварцевых жил, которые, имея более молодой возраст, залегают в относительно древних породах.

Несмотря на то, что кварцевые жилы и гнезда с кристаллами кварца, как правило, расположены в древних породах, формирование их происходило на небольших глубинах — не более 2 км. Об этом свидетельствуют низкая температура образования кристаллов кварца (100—250° С) и малые давления (200—250 атм), а также формирование хрустальных гнезд в открытых (полых) тектонических трещинах, что исключено на больших глубинах. Образование кристаллов кварца на незначительных глубинах позволяет утверждать, что формирование хрусталеносных кварцевых жил происходило под маломощными толщами пород кровли. Следовательно, молодые хрусталеносные зоны развивались в основном в блоках древних пород, которые были выведены к моменту образования гнезд с кристаллами кварца в верхние горизонты земной коры.

Закономерности размещения хрусталеносных зон в пределах тектоно-магматических поясов, независимо от состава вмещающих пород, в первую очередь определяется пространственным положением интрузивных массивов и даек изверженных пород. Интрузивные массивы и зоны даек трассируют положение глубинных разломов, отражают их внутреннюю структуру, а главное — оказывают большое влияние на размещение хрусталеносных полей и месторождений.

Крупные хрусталеносные зоны обычно приурочены к многофазным интрузивам сложного внутреннего строения, с которыми генетически и пространственно тесно связаны дайки изверженных пород. Наличие даек внутри интрузивов или около них свидетельствует о повышенной мобильности данного участка хрусталеносных провинций, где длительное время периодически возобновлялись тектонические подвижки и происходило многократное внедрение магмы. Такие участки оказались хорошо проницаемыми не только для силикатного расплава, но и для постмагматических растворов, обусловивших формирование хрусталеносных зон.

Пространственная связь хрусталеносных зон с интрузивными массивами объясняется, во-первых, расположением интрузивов в поясах крупных тектонических структур; во-вторых, способностью интрузивных массивов, как жестких блоков, выполнять роль структурного контроля в размещении жило- и гнездовмещающих тектонических трещин; в-третьих, парагенетической связью между интрузивными горными породами и хрусталеносными кварцевыми жилами, поскольку те и другие являются производными единого магматического очага.

Хрусталеносные зоны, как правило, формировались во вмещающих горных породах — вдоль лежащих боков и значительно реже внутри

интрузивных массивов. Тектонические подвижки около интрузивных массивов сопровождались интенсивным рассланцеванием, брекчированием и разлинзованием горных пород. В пластичных и вязких вмещающих горных породах происходило тектоническое рассланцевание, а в хрупких и жестких породах — брекчирование и разлинзование.

По наблюдениям В. А. Смирновой [9], в висячих боках интрузивных массивов хрусталеносные зоны, как правило, не образуются, так как здесь развиваются широкие каймы роговиков, составляющие вместе с интрузивами единые монолитные блоки. Поздние разрывные нарушения обычно не рассекают каймы роговиков, а огибают их с внешней стороны, значительно удаляясь при этом от интрузивных массивов. В случаях, когда степень ороговикования постепенно затухает в сторону от интрузивного массива, хрусталеносных зон около него не образуется: здесь отсутствует четкий контакт двух соприкасающихся пород с резко различными физико-механическими свойствами, благоприятный для развития разрывных нарушений.

В некоторых хрусталеносных полях кварцевые жилы и хрустальные гнезда пространственно тесно связаны с дайками изверженных пород. По минеральному составу, текстурным и структурным особенностям дайки хрусталеносных провинций весьма разнообразны и представлены как кислыми (кварцевые порфиры, гранит-порфиры, альбитофиры и др.), так и основными (габбро-диориты, диабазовые порфириты, диабазы и др.) породами. Однако в количественном отношении дайки диабазов резко преобладают над всеми другими.

подавляющее большинство даек имеет простое строение, но встречаются и дайки сложного строения. Дайки простого строения представлены какой-либо определенной разновидностью изверженной породы (кварцевым порфиром, альбитофиром, диабазом), состав же пород даек сложного строения резко изменен вкрест простирания (кварцевые порфиры — альбитофиры — диабазы), размеры их как по простиранию, так и по падению более значительны. Неоднократное приоткрывание тектонических трещин, вмещающих сложные дайки, приводило к дополнительному развитию их по флангам и на глубину.

Расположение кварцевых жил и хрустальных гнезд в дайках напоминает характер лестничных жил одного из золоторудных месторождений на Среднем Урале. Здесь золотоносные кварцевые жилы располагаются по трещинам оперения, развитым вкрест и диагонально простиранию даек.

Однако далеко не все дайки хрусталеносны. Хрусталеносными (лестничными) являются только те дайки, приконтактные породы у которых интенсивно рассланцованы и несут следы яркого гидротермального изменения. Вероятно, в процессе тектонических подвижек, происшедших в условиях расширения среды, дайки скользили вниз по плоскостям интенсивного рассланцевания пород, хорошо развитым со стороны лежащего бока даек, в связи с чем в дайках раскрывалась система трещин скалывания и отрыва, заложенная в них в последдаймовую стадию сжатия вмещающей среды. Следовательно, в условиях растяжения контактные зоны даек выполняли роль подводящих каналов для гидротермальных растворов, а трещины скалывания и отрыва, развитые в дайках, являлись полостями, где вначале размещались кварцевые жилы, а позднее формировались хрустальные гнезда и минерализованные трещины (лестничные жилы).

В том случае, когда интенсивное рассланцевание пород происходит в висячем боку даек, оперяющие трещины пронизывают не дайку, а ее кровлю (висячий бок). Если же по контактам даек не происходило тек-

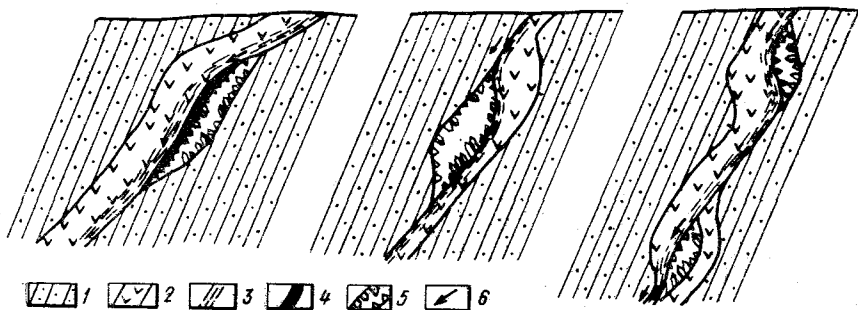


Рис. 2. Схемы расположения кварцевых жил и хрустальных гнезд около даек диабазов (поперечные разрезы)

1 — кварциты; 2 — дайки диабазов; 3 — зоны интенсивного расщепления горных пород; 4 — кварцевые жилы; 5 — хрустальные гнезда; 6 — направление подвижек, вызвавших приоткрывание полостей при расширении среды

тонических подвижек, то такие дайки являются нехрусталеносными. Наиболее протяженные хрусталеносные зоны располагаются в контактах даек, имеющих сложное строение и обладающих значительными размерами как по простиранию, так и по падению [1].

Особым типом минерализованных трещин являются хрусталеносные полости, развивающиеся вдоль контактов даек изверженных пород. Они имеют форму обычных хрустальных гнезд, приуроченных к кварцевым жилам. Хрустальные гнезда располагаются в изогнутых частях даек и характеризуются крупными размерами (рис. 2). Образование их, судя по форме и месту расположения, связано с приоткрыванием трещин, развитых вдоль изогнутых контактов даек. Тектонические условия формирования хрустальных гнезд этого типа свидетельствуют о том, что они могут иметь большие размеры, так как подвижки, происходившие по контакту даек, были значительными по сравнению с подвижками, развивающимися по оперяющим тектоническим трещинам. Не исключена возможность образования таких хрусталеносных полостей и непосредственно во вмещающих породах, например в кварцитах, по секущим зонам интенсивного расщепления.

Все горные породы хрусталеносных провинций по физико-механическим свойствам можно разделить на две группы: хрупкие и пластичные. Самые поздние разломы, сопровождаемые обычно зонами интенсивного расщепления и милонитизации, развиваются преимущественно по контактам хрупких (жестких) пород с пластичными (мягкими), причем зоны разлома образуются непосредственно по пластичным породам, в то время как кварцевые жилы и хрустальные гнезда, сопряженные с ними, локализуются в хрупких породах, благоприятных для развития оперяющих трещин (рис. 3). Однако способность одних и тех же пород к трещинообразованию в разных геологических условиях различна. Дайки диабазов, например, залегающие среди пластичных слюдистых сланцев, часто бывают коллекторами жильных трещин, и наоборот, если дайки расположены в кварцитах, то по ним обычно развиваются тектонические зоны интенсивной расщепленности, а непосредственно в кварцитах локализуются жило- и гнездовмещающие трещины. Таким образом, в одних и тех же породах в разных геологических условиях в связи с относительной пластичностью пород образуются то зоны интенсивной расщепленности, то трещины оперения. Чаще всего это касается слюдистых сланцев и кварцитов, которые составляют общий

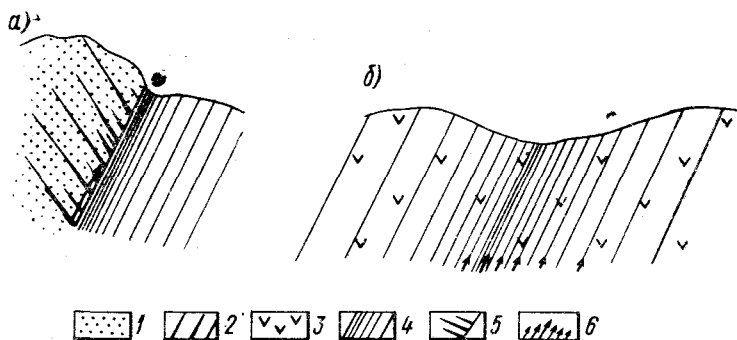


Рис. 3. Примеры тектонических зон интенсивного расщелачивания: а — с резким переходом от тонкорасщелачиванных горных пород к массивным; б — с постепенными переходами (поперечные разрезы)

1 — кварциты; 2 — слюистые сланцы; 3 — диабазы (однородные горные породы); 4 — тектонические зоны интенсивного расщелачивания горных пород; 5 — трещины оперения; 6 — затухание амплитуд скольжения от центра к периферии тектонических зон

фон многих хрусталеносных провинций в разных соотношениях с другими горными породами (рис. 4).

От зон интенсивного расщелачивания целиком зависит формирование трещин оперения, а следовательно, и гидротермальных жил, располагающихся в этих трещинах. Кроме того, как зоны разломов, с которыми сопряжены оперяющие хрусталеносные кварцевые жилы, являются подводными каналами для гидротерм, так и сопряженные с разломами трещины оперения, непосредственно в которых формируются гидротермальные жилы, являются одинаково важными структурами в образовании хрусталеносных зон.

Очень редко хрустальные гнезда образуются непосредственно в зонах интенсивного расщелачивания и располагаются в них. Кварцевые жилы и хрустальные гнезда, связанные с секущими тектоническими зонами, приурочены к изгибам самих зон.

Физико-механические свойства горных пород влияют также и на форму хрусталеносных жильных тел. В каждой разновидности горных пород кварцевые жилы и хрустальные гнезда характеризуются своими специфическими формами. Для слюистых сланцев, например, характерна четковидно-линзовидная форма кварцевых жил и хрустальных гнезд с изгибами по падению и частыми апофизами. В жестких горных породах, таких, как кварциты и гранитоиды, образуются сравнительно прямолинейные плосколинзовидные тела и штокверкообразные зоны. Наиболее сложную форму жильные тела имеют в тех местах, где хрусталеносные зоны пересекают разные горные породы (хрупкие и пластичные), например слюистые сланцы и кварциты.

В истории формирования тектонических трещин необходимо выделять две стадии: зарождение тектонических трещин (закрытая трещиноватость) и развитие тектонических трещин в дайко- и жилонмещающие полости (открытая трещиноватость).

Зарождение тектонических трещин происходит в обстановке сжатия горных пород. В слоистых толщах сжатие выражается прежде всего в формировании складчатых структур и в заложении главных разрывных нарушений типа надвигов, сдвигов и взбросов, которые в свою очередь оперяются системой зарождающихся трещин скалывания и отрыва.

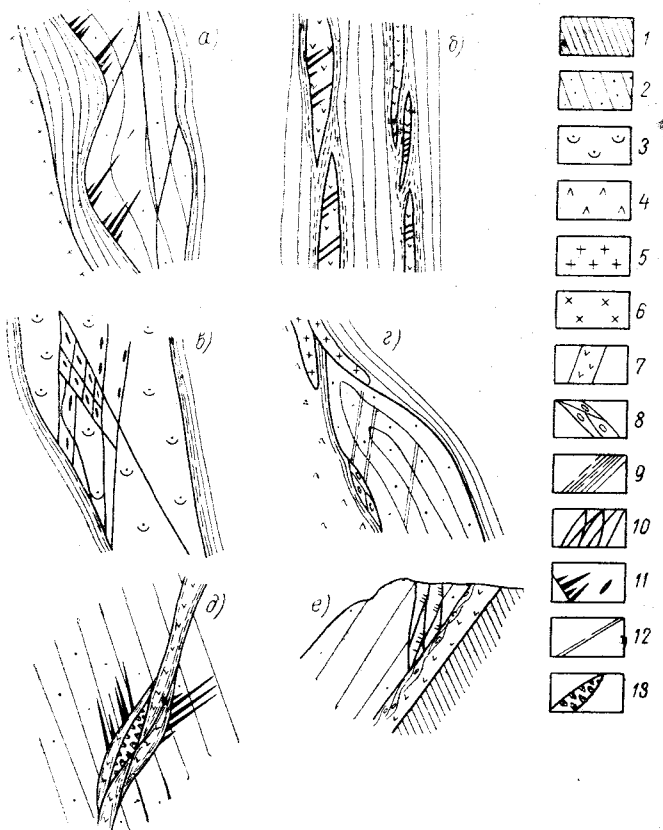


Рис. 4. Хрусталеносные зоны в тектонических блоках, осложненных разломами и оперяющими трещинами (по В. А. Смирновой): *а* — перистые; *б* — лестничные; *в* — хрусталеносные с шахматным расположением кварцевых жил, приуроченных к разломам ромбоздрического блокового строения; *г* — плосколинзовидные протяженные хрусталеносные; *д* — хрусталеносные с двусторонним оперением; *е* — протяженные хрусталеносные с оперением второго порядка

1 — слюдяные сланцы; 2 — кварциты; 3 — ортосланцы; 4 — диориты; 5 — граниты; 6 — кварцевые порфиры; 7 — дайки диабазов; 8 — тектониты с кварцевой псевдогалькой; 9 — тектонические зоны интенсивного рассланцевания; 10 — протяженные секущие трещины со следами скольжения; 11 — кварцевые жилы; 12 — хрусталеносные зоны; 13 — хрустальные гнезда

Заполнение тектонических трещин магматическим или постмагматическим материалом происходит в условиях растяжения данного участка земной коры, т. е. в период раскрытия тектонических трещин. Полевые наблюдения позволяют по этому вопросу сделать следующие выводы: 1) присутствие в хрусталеносных провинциях не одной, а нескольких разноориентированных систем даек, кварцевых жил и хрустальных гнезд не дает возможности объяснять раскрытие трещин как результат параллельного им сжатия; 2) формирование даек, кварцевых жил и хрустальных гнезд происходит в условиях двустороннего растяжения, из которых одно, как правило, преобладает; 3) раскрытие трещин и заполнение их магматическим или постмагматическим материалом происходит главным образом на фоне развития гравитационного сбросообразования.

В общей истории геолого-структурного развития хрусталеносных провинций можно наметить пять главных этапов: складчатый, магматический (формирование интрузивных массивов), дайковый, жильный и гнездовый. В течение каждого этапа в первую (раннюю) стадию происходило заложение тектонических трещин (в условиях сжатия среды), а во вторую (позднюю) стадию — раскрытие тектонических трещин (в условиях растяжения среды) и заполнение их продуктами магматического очага.

В заключение необходимо отметить, что наиболее перспективными являются те хрусталеносные зоны, которые располагаются в долгоживущих разломах и формирование которых было многоэтапным и многостадийным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карякин А. Е. Генетическая связь хрустальных гнезд с кварцевыми жилами и происхождение полостей. Зап. ЛГИ, т. 33, вып. 2, 1949.
2. Карякин А. Е. Типы кварцевых жил и их хрусталеносность. Зап. ЛГИ, т. 28, вып. 2, 1953.
3. Карякин А. Е. Понсковые признаки хрустальных гнезд. Зап. ЛГИ, т. 31, вып. 2, 1955.
4. Карякин А. Е. Пути движения растворов и механизм образования хрустальных гнезд. Зап. ЛГИ, т. 35, вып. 2, 1959.
5. Карякин А. Е. О механизме зарождения и раскрытия трещин, вмещающих хрусталеносные кварцевые жилы. Тр. ВНИИП, т. 7, 1962.
6. Карякин А. Е., Смирнова В. А. Структуры хрусталеносных полей. «Недра», 1967.
7. Лазько Е. М. О генезисе хрусталеносных образований и промышленных типах месторождений пьезокварца. Тр. ВНИИП, т. 2, 1957.
8. Смирнова В. А. Об ореолах выщелачивания около хрустальных гнезд Приполярного Урала. Пьезооптическое сырье, 1957, № 1.
9. Смирнова В. А. Роль трещинной тектоники в образовании и размещении хрусталеносных кварцевых жил Приполярного Урала. Тр. ВНИИП, т. 5, вып. 2, 1960.
10. Смирнова В. А. Закономерности образования и размещения хрусталеносных кварцевых жил Приполярного Урала, залегающих в кварцевой толще. Тр. ВНИИП, т. 7, 1962.
11. Смирнова В. А. Основные закономерности размещения хрусталеносных жил на Приполярном Урале. Тр. ВНИИСИМС, т. 8. М., 1964.
12. Смирнова В. А., Никитин Д. В. Значение блоковой тектоники в размещении хрусталеносной минерализации западной части Урала. — В кн.: Условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых. Изд. ЛГИ, 1971.
13. Шаронов Б. Н. Трещины оперения и их роль в формировании структуры одного из месторождений горного хрусталя в кварцитах Приполярного Урала. Зап. ЛГИ, т. 56, вып. 2, 1970.