Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. XXXV, вып. 2, 1959 г.

ПУТИ ДВИЖЕНИЯ РАСТВОРОВ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ХРУСТАЛЬНЫХ ГНЕЗД ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

А. Е. КАРЯКИН

1. Хрусталеносность кварцевых жил. В породах хрусталеносной провинции Приполярного Урала господствуют три системы тектонических трещин: согласные, секущие и поперечные. К этим трещинам приурочены почти все хрусталеносные кварцевые жилы исследованного района.

Согласные трещины развиваются по плоскостям сланцеватости вмещающих пород. Элементы залегания трещин находятся в прямой зависимости от направления сланцеватости. Как правило, простирание их близко к меридиональному, а падение западное под углом 25—85°.

Секущие трещины развиваются по направлению простирания сланцеватости вмещающих пород, но по падению секут плоскость сланцеватости почти под прямым углом. В зависимости от углов падения плоскостей сланцеватости вмещающих пород углы падения жиловмещающих трещин колеблются от 75° до горизонтальных.

Поперечные трещины секут сланцеватость вмещающих пород как по простиранию, так и по падению.

В зависимости от того, в какой из этих систем располагаются кварцевые жилы, они делятся на три типа: согласные, секущие и поперечные. Среди кварцевых жил Приполярного Урала наибольшим распространением пользуются первые два типа; поперечные кварцевые жилы встречаются значительно реже.

Кварцевые жилы Приполярного Урала, независимо от состава вмещающих пород, являются мономинеральными (чисто кварцевыми) образованиями. Жильный кварц секущих кварцевых жил, в отличие от согласных, более крупнозернистый, с участками гигантозернистого кварца. Наиболее крупнозернистыми являются хрусталеносные кварцевые жилы. В таких жилах гигантозернистый кварц образуется около хрустальных гнезд, а иногда слагает всю жилу целиком.

Приуроченность участков с крупно- и гигантозернистой структурой к местам расположения хрустальных гнезд свидетельствует о том, что она появилась в результате перекристаллизации первично мелко- и среднезернистого жильного кварца под влиянием щелочных растворов, пропитывавших уже сформировавшуюся кварцевую жилу. Характерно, что отдельные индивиды гигантозернистой структуры достигают 75 *см* в длину и 25 *см* в поперечнике. Вследствие стесненного роста такие зерна-гиганты ограничены поверхностями, несущими индукционную штриховку.

Значительная величина зерен-гигантов и наличие индукционных граней подтверждают образование крупно- и гигантозернистой структуры в результате перекристаллизации мелко- и среднезернистого жильного кварца, ибо иначе невозможно объяснить, каким образом во время роста удерживались в растворе во взвешенном состоянии такого размера зерна-гиганты. Однако большинство кварцевых жил Приполярного Урала имеет мелко- и среднезернистую структуру и массивную текстуру жильного кварца. Такое строение жильного кварца характерно для всех согласных и многих секущих кварцевых жил. При образовании кварцевых жил массивной текстуры кристаллические зерна начинают свой рост из многих близко расположенных точек, поэтому довольно быстро вступают друг с другом в борьбу за пространство и развитие своих кристаллографических форм. Поскольку кварцевые жилы сложены зернами одного и того же минерала, ни одно из них не может вырасти до значительных размеров и одеться гранями за счет соседа. В результате этого в кварцевых жилах размеры и внешняя форма каждого кристаллического зерна определяются границами его соседей.

Хрусталеносными называют те кварцевые жилы, к которым приурочены гнезда с кристаллами кварца. Далеко не все кварцевые жилы Приполярного Урала являются хрусталеносными. Опыт разведки и отработки кварцевых жил показывает, что наиболее хрусталеносными являются те кварцевые жилы, которые залегают в секущих и поперечных трещинах. Так, например, анализ статистических данных показывает, что из 283 секущих кварцевых жил к 175 были приурочены гнезда с кристаллами кварца, а 108 оказались нехрусталеносными; из 85 поперечных кварцевых жил 42 были хрусталеносными, а 43 гнезда кристаллов кварца не содержали. Таким образом, по нашим статистическим данным, 60% секущих и 50% поперечных кварцевых жил являются хрусталеносными.

Согласные кварцевые жилы не содержат гнезд с кристаллами кварца и являются нехрусталеносными. Хотя с некоторыми согласными кварцевыми жилами территориально и связаны хрусталеносные гнезда, но эти гнезда, как показывают полевые наблюдения, располагаются не в согласных, а в сопряженных с ними секущих трещинах.

2. Расположение хрустальных гнезд по отношению к кварцевым жилам. Хрустальные гнезда Приполярного Урала содержат кристаллы и друзы горного хрусталя, дымчатого кварца и аметиста. Кристаллы кварца являются главными, но не единственными минералами хрустальных гнезд, они всегда сопровождаются парагенетическими минералами В хрустальных гнездах исследованного района встречаются следующие парагенетические минералы: окислы — рутил, брукит, анатаз, магнетит и гематит; силикаты — хлорит, серицит, турмалин, аксинит, сфен, тремолит, актинолит-асбест (амиант), тальк, эпидот, цоизит, адуляр, альбит, цеолиты; карбонаты — сидерит, анкерит, доломит, кальцит и исландский шпат; галоиды — флюорит; фосфаты — апатит и лазулит; вольфраматы — вольфрамит и шеелит; сульфиды — пирит, марказит, галенит и др.

В приведенном списке перечислены почти все минералы, которые встречаются в хрустальных гнездах. Однако в каждом отдельном гнезде можно обнаружить только несколько из названных минералов. Ни в одном из хрустальных гнезд до сих пор не были встречены одновременно все перечисленные минералы. Это объясняется тем, что минеральный состав хрустальных гнезд зависит от химизма тех пород, в которых они залегают. Большое же число минералов общего списка указывает на

все разнообразие горных пород, в которых залегают хрустальные гнезда Приполярного Урала.

За 25 лет работы Полярно-Уральской экспедиции вскрыто и отработано более тысячи хрустальных погребов, пространственно связанных с кварцевыми жилами. Подавляющее большинство хрустальных погребов расположено на выклинивании кварцевых жил или в их зальбандах (рис. 1). Хрустальные гнезда, находящиеся в местах выклинивания

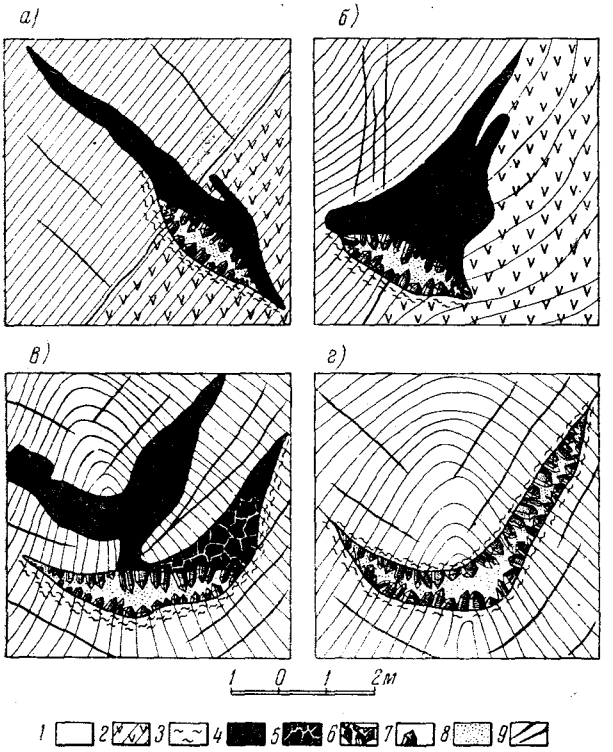


Рис. 1. Хрусталеносные кварцевые жилы в поперечных разрезах:

а — кварцевая жила 22; *б* — кварцевая жила 80; *в* — кварцевая жила 69; *г* — минерализованная трещина 4 (месторождение Додо); *1* — кварц-хлоритовые сланцы; *2* — рассланцованные диабазы; *3* — гидротермально измененные породы; *4* — крупнозернистый кварц; *5* — гигантозернистый кварц; *6* — хрустальные гнезда и минерализованные трещины; *7* — кристаллы кварца; *8* — хлоритовый песок; *9* — тектонические трещины

кварцевых жил, представляют собой как бы продолжение этих жил по падению или простиранию. Гнезда, находящиеся в зальбандах кварцевых жил, обычно располагаются в их лежачих боках. Иногда хрустальные гнезда локализуются и внутри преимущественно сложных и неправильной формы кварцевых жил. В таких кварцевых жилах хрустальные гнезда приурочены к тектоническим трещинам, ориентированным параллельно секущим трещинам скалывания или растяжения.

Такое расположение хрустальных гнезд по отношению к кварцевым жилам дает основание предполагать, что образование полостей и кристаллов кварца происходило в последние стадии гидротермального процесса, когда формирование кварцевых жил с первичной массивной текстурой жильного кварца было уже закончено.

В известной геологической литературе до сих пор даже не отмечено попыток объяснения вопросов — почему хрустальные гнезда пространственно связаны только с секущими трещинами и располагаются преимущественно в лежачих боках, а также на выклинивании кварцевых жил по падению. Для ответа на поставленные вопросы необходимо последовательно рассмотреть пути движения гидротермальных растворов, механизм образования и заполнения жильных трещин, механизм образования и выполнения хрустальных полостей.

3. Пути движения гидротермальных растворов. Все породы хрусталеносной провинции Приполярного Урала в той или иной степени рассланцованы. Как показывает изучение отношения плоскостей сланцеватости к мелким складкам, сланцеватость ориентирована в направлении осей складок. Поскольку складки имеют моноклинальное строение, плоскости сланцеватости, так же как и крылья складок, круто падают преимущественно на запад и кое-где на восток. Иное залегание сланцеватости, обусловленное местными причинами, установлено лишь в некоторых местах водораздельной части хребта. Простирание плоскостей сланцеватости меридиональное или близкое к нему с небольшим отклонением к востоку и реже западу. Зависимость распределения сланцеватости от характера пород проявляется вполне четко: некоторые из них типичные сланцы, другие имеют только грубый кливаж.

Максимальная рассланцованность наблюдается в породах более пластичных, образовавшихся из глинистого материала. Такие породы расщепляются на тонкие плоскопараллельные пластинки. В кварцитах, кварцитовых конгломератах, кварцитовидных песчаниках и известняках сланцеватость проявляется значительно слабее, чем в пластичных породах. Массивы изверженных пород рассланцованы в меньшей степени, чем метаморфические породы. При этом наблюдается неравномерность рассланцевания пород даже в пределах одного интрузивного массива: гнейсификация и рассланцевание пород увеличиваются от центра массива к его периферии.

Полевыми исследованиями подмечена следующая закономерность: чем сильнее рассланцованы породы, тем интенсивнее они изменены гидротермальными растворами. Кроме того, максимальное число согласных кварцевых жил, прожилков и линзочек сосредоточено в породах сильно рассланцованных: кварцево-серицитовых, кварцево-хлоритовых, филлитовидных и зеленых сланцах. Таким образом, можно считать, что главной и широкой дорогой былого перемещения огромных масс растворов (от магматического очага) были не секущие трещины, имеющие сравнительно небольшие размеры по падению и простиранию, а великое множество плоскостей сланцеватости, уходящих на большие глубины.

Особенно следует обратить внимание на то, что хрусталеносная провинция Приполярного Урала приурочена к области интенсивно рассланцованных пород. В пределах хрусталеносной провинции породы с массивной текстурой пользуются весьма ограниченным распространением. К тому же в породах с массивной текстурой хрустальные гнезда и минерализованные трещины не встречаются.

Сланцеватость пород — это основная и, пожалуй, одна из характерных особенностей геологического строения не только Приполярного Урала, но и многих других хрусталеносных провинций — Памира, Алдана, Швейцарских Альп, Бразилии, Мадагаскара, Южного Урала, Казахстана и Новой Земли.

В пределах Приполярного Урала сланцеватость распределяется неравномерно: максимальному рассланцеванию подверглись породы, рас-

положенные в центральной зоне хрусталеносной полосы, а к востоку и западу от водораздела Уральского хребта рассланцевание уменьшается.

По мере затухания рассланцевания в породах заметно уменьшается и насыщенность хрустальными гнездами. Следовательно, в появлении хрустальных гнезд заметную роль играет развитие плоскостей сланцеватости, которые были главными каналами для восходящих гидротермальных растворов. Так, например, наиболее хрусталеносными являются те массивы кварцитов, которые интенсивно рассланцованы, прорваны телами интрузивных пород и находятся в окружении сланцев или образуют с ними частую перемежаемость.

Путями движения растворов являлись и плоскости контактов сланцев с кварцитами, кварцитов и сланцев с гранитами и другими изверженными породами. Было движение растворов по плоскостям согласных контактов также зафиксировано гидротермальными изменениями пород висячего и лежачего боков. На месторождениях В. Парнук, Пирамида и Кварцито-Шор, например, диориты в контакте с кварцитами превращены в зеленые сланцы, которые в виде узких полос окаймляют кварциты со стороны лежачего и висячего боков. Характерно, что наиболее интенсивное изменение наблюдается в диоритах, прилегающих к лежачему боку кварцитов. На месторождениях В. Парнук и Кварцито-Шор наибольшая концентрация кварцевых жил и хрустальных гнезд наблюдается в местах интенсивного изменения диоритов, т. е. в зоне контакта диоритов и кварцитов.

По отношению к плоскостям сланцеватости и гнейсификации все дайки изверженных пород, так же как и кварцевые жилы, можно разделить на три группы: согласные, секущие и поперечные. Изверженные породы в секущих и поперечных дайках имеют массивную текстуру, а в согласных они настолько сильно рассланцованы, что по внешнему виду их очень трудно бывает отличить от сланцев. Кроме того, породы согласных даек претерпели сильное воздействие гидротермальных растворов. Поэтому минеральный состав подавляющего большинства согласных даек диабаза представлен альбитом, хлоритом, эпидотом и карбонатами; кварцевого порфира — кварцем, альбитом и серицитом; порфирита — кварцем, альбитом, хлоритом и эпидотом. Таким образом, характер изменения горных пород в дайках точно такой же, как и в породах, вмещающих хрустальные гнезда, т. е. диабазы превращаются в зеленые сланцы; кварцевые порфиры — в кварцево-серицитовые сланцы, а порфириты — в кварцево-хлоритовые сланцы [5]. Наиболее интенсивное воздействие гидротермальных растворов претерпели те дайки, которые располагаются в местах максимальной концентрации кварцевых жил, хрустальных гнезд и минерализованных трещин. Достоверность этого наблюдения подтверждают все месторождения Приполярного Урала и особенно Хусь-Ойка, Додо, Омега-Шор, Скалистое, В. Парнук, Гранитное и Водораздельное [6]. На площади всех перечисленных месторождений широким распространением пользуются дайки изверженных пород, при этом породы согласных даек интенсивно изменены гидротермальными растворами. Этому подмеченному факту автор придает весьма важное значение как поисковому признаку месторождений пьезооптического кварца [4]. Кроме того, интенсивное изменение пород в согласных дайках дает основание считать, что они являлись важными путями движения гидротермальных растворов или, как образно говорят рудокопы, «дайки прокладывают и указывают дорогу руде» [1].

4. Механизм образования и выполнения жильных трещин. Меридиональное простирание и крутое падение плоскостей слоистости и сланцеватости указывают на то, что во время складкообразовательного

периода максимальное сжатие пород было направлено с запада и востока. Сжатие пластов пород в широтном направлении сопровождалось растяжением их как по простиранию, так и по падению. И если под влиянием широтного бокового давления в породах развивалась сланцеватость, то растягивающие усилия приводили к появлению трещин скалывания и растяжения. На растяжение пластов пород по простиранию и падению указывают следующие факты.

Почти все тела кварцитов, кварцитовых конгломератов, песчаников и мраморов имеют линзовидную форму. Эти линзы сплющены в широтном направлении и вытянуты по простиранию и падению. Прекрасным объектом для изучения деформации первично-осадочных пород являются кварцитовые конгломераты. Изменение форм галек в этих породах, происходившее иногда с разрывом сплошности, достаточно четко отражает явление пластических деформаций. В кварцитовых конгломератах водораздельной части Приполярного Урала каждая галька представляет собой неправильный эллипсоид, наибольшая ось которого в 5—10 раз длиннее самой короткой оси. Есть основание полагать, что до метаморфизма гальки имели изометрично-округлую форму. Например, на западном склоне Уральского хребта (в районе р. Харота) и на восточном склоне (в районе горы Кедрасью) обнажаются кварцитовые конгломераты с гальками изометрично-округлой формы. В пределах хрусталеносной провинции (водораздельная часть Уральского хребта) гальки кварцитовых конгломератов обычно сильно сплюснуты и вытянуты по одной оси. Следовательно, величина удлинения галек позволяет хотя бы приблизительно оценивать величину деформации пластов первично-осадочных пород. Длинные оси галек примерно параллельны между собой, а в общем они ориентированы параллельно осям складок. Короткая и средняя оси различных галек соответственно также более или менее параллельны, а короткая ось к тому же и перпендикулярна сланцеватости пород.

Некоторые гальки кварцитовых конгломератов разорваны по плоскостям, перпендикулярным удлинению. Гальки кварцитовых конгломератов под воздействием тектонических напряжений не только деформируются, но и перемещаются в цементирующей их массе. Признаками такого перемещения являются борозды и зеркала скольжения на поверхности галек кварцитовых конгломератов. Обычно в «хвостах» или «тенях давления», т. е. на тех концах кварцитовых галек, которые ориентированы в направлении общего движения масс, образуются скопления цементирующего материала (мелкозернистого кварца, серицита и хлорита). Гальки кварцитовых конгломератов, в свою очередь, деформированы меньше в «тенях давления» крупных линзовидных тел — в их южных и северных концах.

Таким образом, развитие плоскостей сланцеватости (согласных трещин) сопровождалось появлением сопряженных с ними трещин скалывания (секущих трещин) и трещин растяжения (поперечных трещин). В слюдистых сланцах Приполярного Урала плоскости сланцеватости имеют большое протяжение на глубину и по простиранию, а размеры трещин скалывания и растяжения небольшие. Более или менее значительные размеры трещин скалывания и растяжения (десятки и редко сотни метров по протяжению) наблюдаются в толще кварцитовых конгломератов и кварцитов, а также в массивах гранитоидов.

В период складкообразовательных движений согласные трещины были закрыты, поэтому постмагматические растворы не имели возможности продвигаться в верхние горизонты земной коры. К концу складкообразовательного периода, в связи с уменьшением бокового давления

и общим расширением среды, началось раскрытие трещин, которые зародились еще в условиях общего сжатия. Уменьшение бокового давления сопровождалось и перемещением пластов метаморфических пород по плоскостям сланцеватости. В результате послойного перемещения пород возникали полости линзовидной формы. Такие полости образуются в том случае, когда плоскости сланцеватости имеют не совсем правильно изогнутый характер, какими они обычно и бывают (рис. 2).

Расширение трещин сланцеватости открывало путь для проникновения кремнекислых растворов в верхние горизонты земной коры. Продвигаясь по плоскостям сланцеватости, кремнекислые растворы заполняли открывавшиеся линзовидные полости. Подавляющее большинство согласных кварцевых жил действительно имеет линзовидную форму. Однако главную массу кремнезема гидротермальные растворы оставляют на своем пути не в крупных линзовидных полостях, а в виде мелких линзочек, которые в метаморфических сланцах Приполярного Урала встречаются буквально на каждом шагу. Именно эти-то кварцевые линзочки и тонкие прожилки, густо пронизывающие все рассланцованные породы и особенно слюдистые сланцы, с предельной убедительностью указывают на главную дорогу в былом движении гидротермальных растворов.

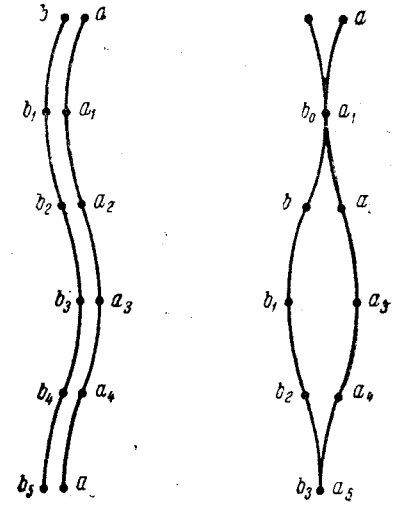


Рис. 2. Образование линзовидных полостей при смещении пород по волнистой поверхности

Послойное движение пластов пород по плоскостям сланцеватости обусловливало и расширение трещин скалывания (секущих трещин). Поскольку плоскости секущих трещин располагаются под углом, близким к прямому, по отношению к плоскостям сланцеватости, то вполне естественно, что к ним подходило много подводящих каналов и они быстро заполнялись кремнекислыми растворами (рис. 3).

Ни на одном месторождении Приполярного Урала автору не приходилось наблюдать взаимного пересечения кварцевых жил различных типов. Наоборот, на месторождении Кварцито-Шор кварцевая жила 47 расположена по системе секущих и согласных трещин. Поперечный разрез этой жилы имеет вид лестницы (рис. 4). Кварцевые жилы такой формы встречаются и на многих других месторождениях. Это позволяет считать секущие, поперечные и согласные кварцевые жилы Приполярного Урала одновозрастными.

Внедрение кремнекислых растворов, вероятно, происходило под большим напором снизу и в период еще не прекратившегося бокового давления, так как в контактах с согласными кварцевыми жилами вмещающие породы рассланцованы до тонких листов. Кроме того, около всех согласных кварцевых жил меридиональная сланцеватость пород дает резкие повороты, отклоняясь от своего главного простирания. Это объясняется тем, что тонко разлистованные породы плотно прилегают к согласным кварцевым жилам и точно повторяют все изгибы на боковых поверхностях кварцевых жил. Создается впечатление, что сланцы, непосредственно прилегающие к кварцевым жилам, как бы «припаяны»

к их боковым поверхностям. Попутно заметим, что в секущих кварцевых жилах зальбанды имеют ребристую поверхность, причем ребристость обусловлена следами плоскостей сланцеватости или гнейсификации боковых пород на поверхности трещин скалывания. Различный характер зальбандов согласных и секущих кварцевых жил дает возможность сравнительно легко, не прибегая к горным выработкам, а лишь на основании осмотра их развалов (глыб и кусков жильного кварца), определить тип кварцевой жилы в коренном залегании.

Большинство согласных кварцевых прожилков повторяет плойчатость вмещающих пород. Это также указывает на то, что внедрение

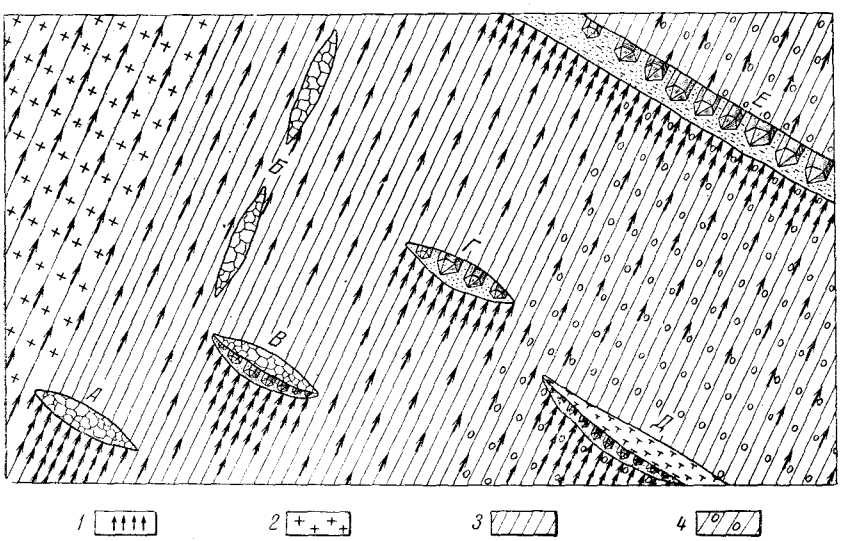


Рис. 3. Схема механизма образования кварцевых жил и хрустальных гнезд Приполярного Урала:

А — секущая кварцевая жила; *Б* — согласная кварцевая жила; *В* — хрустальное гнездо под секущей кварцевой жилой; *Г* — минерализованные трещины; *Д* — хрустальное гнездо под дайкой диабаза; *Е* — хрусталеносная зона; *1* — пути движения растворов; *2* — граниты; *3* — сланцы; *4* — кварциты и кварцевые конгломераты

кремнекислых растворов происходило под большим напором снизу. В свете изложенных фактов можно предположить, что внедрение кремнекислых растворов было весьма интенсивным, в связи с чем свободная циркуляция растворов на некоторое время прекратилась и наступил внутриминерализационный перерыв.

Появление внутриминерализационного перерыва могло быть обусловлено и какими-то другими причинами, но несомненно одно — он был. Это положение подтверждается всей совокупностью геологических наблюдений и, в частности, возрастным взаимоотношением кварцевых жил и хрустальных гнезд, а также резким изменением характера минералообразующих растворов [7].

5. Механизм образования и выполнения хрустальных полостей. После внутриминерализационного перерыва из магматического очага в верхние горизонты земной коры началось просачивание углекислых гидротермальных растворов [6]. Путями движения растворов были плоскости сланцеватости пород, контакты интрузивных массивов, а также дайки изверженных пород.

Секущие кварцевые жилы, располагаясь под углом, близким к прямому, по отношению к плоскостям сланцеватости и напластования по-

род, преграждали путь водным растворам, поднимавшимся по этим плоскостям. Таким образом, секущие кварцевые жилы выполняли роль экранов, которые подпруживали восходящие растворы. Поскольку движение гидротермальных растворов шло от магматического очага к верхним слоям земной коры, т. е. снизу вверх, то накопление растворов происходило под секущими кварцевыми жилами — в их лежачих боках (рис. 5). Кроме того, расположение хрустальных гнезд в нижних частях и лежачих боках кварцевых жил фиксирует не нисходящее, а восходящее движение растворов и, следовательно, не атмосферное, а магматическое их происхождение.

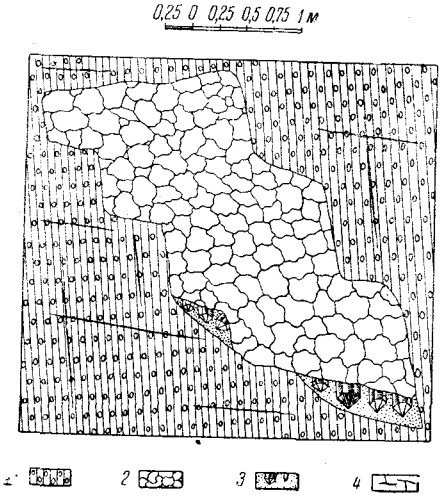


Рис. 4. Кварцевая жила 47 (месторождение Кварцито-Шор). Поперечный разрез:
1 — кварцевые конгломераты; *2* — жильный кварц; *3* — хрустальное гнездо; *4* — трещины отдельности

Воздействие гидротермальных растворов на вмещающие породы около хрустальных гнезд весьма значительно как по размерам зон измененных пород, так и по интенсивности этих изменений. Во всяком случае, около нехрусталеносных кварцевых жил гидротермальные изменения не бывают так интенсивны и разнообразны, как вблизи гнезд с кристаллами кварца. Это положение подтверждается полевыми наблюдениями, данными микроскопического изучения пород, а также химическими анализами (см. таблицу).

Ширина зоны окологнездовых изменений колеблется в широких пределах и, как правило, находится в прямой зависимости от размеров хрустальных гнезд. Около хрустальных гнезд наиболее четко выраженными

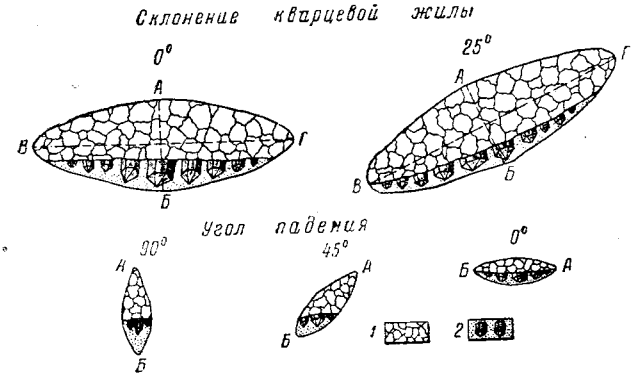


Рис. 5. Расположение хрустальных гнезд по отношению к кварцевым жилам:
1 — жильный кварц; *2* — хрустальное гнездо

процессами являются хлоритизация, серицитизация, альбитизация, эпидотизация и цоизитизация. Однако не во всех боковых породах в одинаковой степени проявляются эти процессы гидротермального изменения. Около отдельных гнезд некоторые из этих процессов проявлены слабо

или полностью выпадают, так как характер изменения в значительной мере обусловлен первичным составом вмещающих пород. Тем не менее, во всех породах, без исключения, около хрустальных гнезд наблюдается интенсивное растворение кварца и разложение полевых шпатов с выделением эпидота, цоизита, серицита, каолинита и кварца, полное разложение цветных минералов (биотита, пироксена, амфибола) с образованием в конечном счете хлорита, рутила, эпидота, сфена, цоизита и ильменита. В непосредственном контакте с хрустальным гнездом, помимо интенсивного разложения первичных минералов, происходит выщелачивание вновь появляющихся минеральных образований, особенно темноцветных и кварца. Таким образом, разложение, растворение и выщелачивание боковых пород являются характерной чертой окологнездового гидротермального метаморфизма.

При сравнении окологнездового и околожильного изменений боковых пород отчетливо вырисовывается разница в его проявлении. Если около нехрусталеносных кварцевых жил наблюдается, главным образом, обогащение пород кремнеземом, то около хрустальных гнезд интенсивно проявляется выщелачивание не только кремнезема, но и многих других компонентов, т. е. разложение и растворение боковых пород. Подобных явлений никогда не наблюдается около нехрусталеносных кварцевых жил. Резкая разница окологнездового и околожильного изменений указывает и на разницу в химизме гидротермальных растворов, формировавших кварцевые жилы и хрустальные гнезда.

Во время образования кварцевых жил гидротермальные растворы были резко пересыщены кремнеземом, который они выносили из магматического очага и отлагали в тектонических трещинах в виде кварцевых жил. В этот период гидротермальные растворы было мало активными и почти не вступали во взаимодействие с боковыми породами, поэтому около нехрусталеносных кварцевых жил не обнаруживается никакого изменения.

При формировании хрустальных гнезд гидротермальные растворы имели совершенно иной характер. В этот период растворы были щелочными, недосыщенными кремнеземом и другими компонентами, которые они жадно поглощали из боковых пород. Заполняя полости, гидротермальные растворы попадали в совершенно иные физико-химические условия, ибо резкое уменьшение давления способствовало переходу растворов в пересыщенное состояние и началу кристаллизации минералов хрустальных гнезд. Рядом с гнездом в боковых породах кристаллы кварца не образовывались, так как растворы находились в порах под большим поровым давлением и были недосыщены кремнеземом в данных условиях. Поэтому рядом с полостью в боковых породах происходило растворение минералов, а внутри полости — их кристаллизация. По мере последовательного выпадения минералов в гнездах, растворы, выполняющие полости, становились все менее концентрированными. Следовательно, межпоровые растворы, находящиеся около гнезд, все больше отличались по концентрации от кристаллизующихся растворов полости. В силу такого увеличивающегося различия в концентрации поровых и полостных растворов, а также постоянной разницы в давлении, между ними устанавливалась непрерывная миграция вещества, происходящая в сторону наименьшего давления, т. е. в сторону хрустального погреба. По мнению В. А. Смирновой, «вещество как бы стягивалось в полость с одновременным растворением боковых пород. А так как в гнездах при постепенном падении температуры всегда происходила кристаллизация минералов, разница в концентрации поровых и полостных растворов все время поддерживалась. Боковые породы в силу та-

кой постоянной диффузии вещества продолжали все время растворяться, питая хрусталеносную полость различными компонентами» [10].

В результате миграции (стягивания) вещества из боковых пород в полости и кристаллизации его внутри этих полостей в виде кристаллов кварца и парагенетических минералов постоянно поддерживалась недосыщенность поровых растворов в условиях высокого давления и способность их растворять боковые породы.

Интенсивному изменению боковых пород способствовало и то, что углекислые водные растворы, накапливаясь под экраном секущих кварцевых жил, вступали в химические реакции с породообразующими минералами и, в первую очередь, извлекали из них щелочные компоненты K_2O, Na_2O, CaO и MgO. По мере насыщения щелочами растворы начинают извлекать кремнезем сперва из минералов боковых пород, а затем и из тела кварцевых жил. В связи с тем, что большая часть легко растворимых соединений (K_2O, Na_2O, CaO и MgO) вместе с растворами, уходящими по лежачему боку, а потом вверх по сланцеватости, выносилась в сторону, под кварцевой жилой появлялась полость растворения. Разложение и растворение пород, несомненно, происходило значительно быстрее и интенсивнее около тех кварцевых жил, вмещающие породы которых были раздроблены или разбиты густой сетью тектонических трещин. Как видно из таблицы, в образовании открытых полостей существенная роль принадлежит не только тектонике, но и химической активности гидротермальных растворов.

Таблица

Компоненты	Привнос (+) или вынос (−) компонентов при гидротермальном изменении 1 $м^3$ породы, $кг$					
	Граниты	Диориты	Гранитизированные сланцы	Кварциты	Кварц-серицитовые сланцы	Кварц-хлоритовые сланцы
SiO_2	−252,00	−195,00	−293,00	−395,00	−200,00	−171,00
TiO_2	−1,00	−0,20	−4,50	−1,70	−1,00	−0,20
Al_2O_3	−3,30	−30,40	−28,80	−18,40	−42,30	−11,60
Fe_2O_3	−10,00	−1,50	−11,70	−10,50	−3,00	+24,40
FeO	−2,70	−48,10	−46,00	−6,50	−18,60	−84,70
CaO	−7,60	−42,50	−23,50	−4,30	−9,50	−6,90
MgO	−11,30	−72,80	−24,00	−8,70	−7,00	−90,10
K_2O	−13,00	−25,00	−39,70	+13,70	+10,60	+33,00
Na_2O	−0,50	−25,50	−11,80	+1,80	+16,00	+20,40
H_2O-	+3,90	+1,60	+0,40	+0,60	+14,00	+16,30
H_2O+	+66,50	+65,50	+54,00	+9,70	+31,90	+80,00

Примечание. Метод пересчета химических анализов гидротермально измененных пород приведен ранее [5].

Изучение минералов хрустальных гнезд показывает, что растворению подвергались не только вмещающие породы, но частично и даже иногда полностью, кристаллы кварца, карбонаты (кальцит, исландский шпат, сидерит и доломит), чешуйки хлорита и серицита, полевые шпаты, иглы эпидота, сферолиты цеолитов и другие минералы. Разложением и растворением вмещающих пород объясняется и наличие весьма неправильных изъеденных стенок у хрустальных гнезд и зальбандов у кварцевых жил. Разъедание вмещающих пород и жильного кварца гидротермальными растворами доказывается и присутствием в хрустальных гнездах и минерализованных трещинах причудливой формы глыб и кусков жильного кварца, гранита, кварцита, сланцев и известняка (рис. 6 и 7).

Как отмечалось выше, хрустальные гнезда пространственно связаны не с согласными, а с секущими кварцевыми жилами. Подавляющее большинство хрустальных гнезд располагается под кварцевыми жилами — в лежачих боках и на выклинивании кварцевых жил по падению; изменение вмещающих пород наиболее интенсивно проявляется около полостей с кристаллами кварца. Эти и другие многочисленные геологические факты послужили основанием к выдвижению нового и, по-видимому, более достоверного объяснения закономерного расположения хрустальных гнезд под секущими кварцевыми жилами. Такое объяснение механизма образования хрустальных гнезд дает возможность более объективно подходить к оценке хрусталеносности кварцевых жил по резуль-

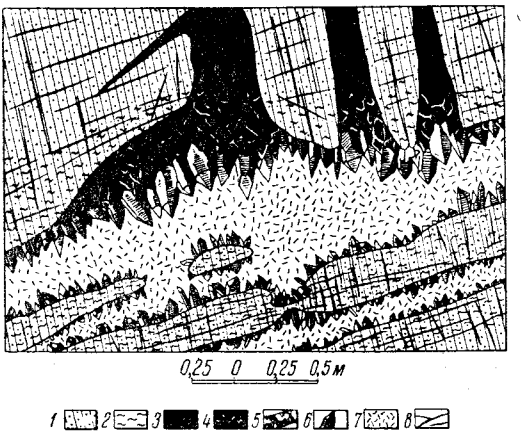


Рис. 6. Участок хрусталеносной зоны 1 (месторождение Пирамида). Поперечный разрез:
1 — кварциты; *2* — гидротермально измененные породы; *3* — крупнозернистый жильный кварц; *4* — гигантозернистый жильный кварц; *5* — минерализованные трещины; *6* — кристаллы кварца; *7* — серицитовый песок; *8* — тектонические трещины

татам предварительной разведки, а иногда и по данным только внимательного осмотра коренного выхода кварцевой жилы. Наличие крупно- и гигантозернистой структуры жильного кварца и интенсивного изменения вмещающих пород может, например, служить основанием к поискам хрустального погреба при помощи горных выработок около кварцевой жилы, несущей отмеченные выше признаки хрусталеносности.

Как известно, хрустальные погреба часто располагаются на выклинивании кварцевых жил по падению. В связи с этим у первых исследователей месторождений пьезооптического кварца Приполярного Урала сложилось твердое убеждение, что подавляющее большинство кварцевых жил содержит только по одному хрустальному погребу. Это убеждение укоренилось среди геологов потому, что в первые годы изучения хрусталеносной провинции разведочные работы производились на кварцевых жилах, выведенных эрозией на дневную поверхность. Естественно, что у таких кварцевых жил хрустальные погреба сохранились только под кварцевыми жилами, а гнезда, расположенные в верхних выклинивающихся частях кварцевых жил, срезаны эрозией (рис. 8). Однако у пологозалегающих секущих кварцевых жил, выполняющих роль экрана, условия для появления хрустальных гнезд одинаковы как в нижней, так и в верхней выклинивающихся частях кварцевой жилы, ибо подпруженные гидротермальные растворы могли обтекать кварцевую жилу со всех сторон. При разведке слепых, а также пологопадающих

кварцевых жил в настоящее время вскрыты хрустальные гнезда не только в лежачем боку или нижнем хвосте кварцевой жилы, но и в ее головной, а также в центральной частях. За последние годы многополостные кварцевые жилы вскрыты на целом ряде месторождений Приполярного Урала (В. Парнук, Скалистое, Пелингичей-III и др.). Характерно, что почти все многополостные кварцевые жилы расположены в секущих и пологозалегающих тектонических трещинах.

Клинообразная форма хрустальных погребов, расположенных на выклинивании кварцевых жил по падению и про-



Рис. 7. Хрусталеносная кварцевая жила 21 (месторождение Пелингичей-III):

1 — известняки; *2* — гидротермально измененные породы; *3* — линзы флогопита; *4* — среднезернистый жильный кварц; *5* — гигантозернистый жильный кварц; *6* — хрустальные гнезда; *7* — кристаллы кварца; *8* — парагенетические минералы

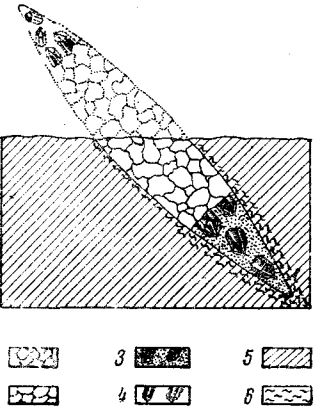


Рис. 8. Выход кварцевой жилы на дневную поверхность:

1 — кварцевая жила в коренном залегании; *2* — эродированная часть кварцевой жилы; *3* — хрустальное гнездо в коренном залегании; *4* — эродированное хрустальное гнездо; *5* — сланцы; *6* — гидротермально измененные породы

стиранию (рис. 9), свидетельствует о том, что образование таких полостей происходило в основном за счет растворения тела кварцевой жилы. При отработке таких погребов можно довольно точно подсчитать объем растворенного жильного кварца. На месторождении Свободное, например, по подсчетам автора, из кварцевой жилы 1 растворами было извлечено, судя по объему хрустального погреба, расположенного под кварцевой жилой, не менее 100 $м^3$ жильного кварца. Следовательно, гидротермальные растворы извлекли щелочи не только из пород, окружающих хрустальные гнезда, но и на пути следования от магматического очага, поэтому они поступали в полости уже с резко выраженными щелочными свойствами (активное растворение жильного кварца и отложение больших количеств серицита, хлорита, альбита и других минералов).

На Приполярном Урале, хотя и редко, но встречаются хрустальные гнезда и в висячих боках секущих кварцевых жил. Такие гнезда, как правило, располагаются в местах пересечения кварцевых жил с трещинами растяжения. Растяжение и разрыв кварцевых жил подтверждается многими геологическими фактами: пересечением кварцевых жил хрустальными гнездами и минерализованными трещинами, выполнением

отдельных трещинок в жильном кварце парагенетическими минералами (хлоритом, серицитом, карбонатами и т. д.), наличием тонких секущих прожилков сульфидов. В некоторых кварцевых жилах встречаются ра-

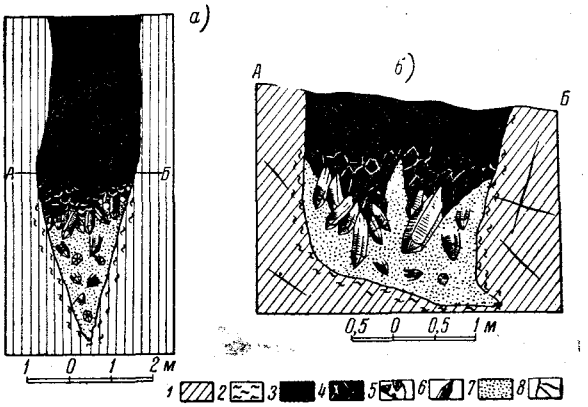


Рис. 9. Хрусталеносная кварцевая жила 1 (месторождение Горное):

а — план; *б* — поперечный разрез; *1* — слюдистые сланцы; *2* — гидротермально измененные породы; *3* — среднезернистый жильный кварц; *4* — гигантозернистый жильный кварц; *5* — хрустальное гнездо; *6* — кристаллы кварца; *7* — хлоритовый песок; *8* — тектонические трещины

зорванные на части крупные иглы кристаллов турмалина и эпидота. Интересно отметить, что на отдельные части разрываются только те крупные кристаллы турмалина и эпидота, которые своим удлинением ориентированы по простиранию кварцевых жил. Разорванные кристаллы турмалина и эпидота оказываются состоящими из ряда параллельно



Рис. 10. Кристалл турмалина, разорванный в теле кварцевой жилы

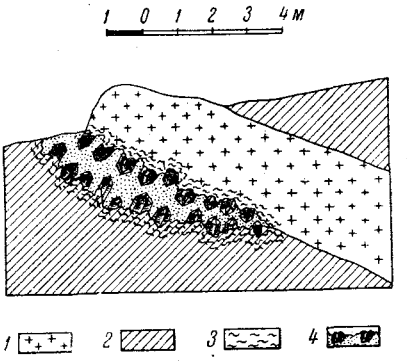


Рис. 11. Хрустальное гнездо 12 под дайкой кварцевого порфира (месторождение Манарага).

1 — кварцевые порфиры; *2* — кварцево-хлоритовые сланцы; *3* — гидротермально измененные породы; *4* — хрустальное гнездо

расположенных колец, отделенных друг от друга тонкими жилочками кальцита (рис. 10). Этот факт также свидетельствует о растяжении кварцевых жил после их образования, с последующим заполнением трещин разрыва парагенетическими минералами.

Исходя из изложенных в настоящей статье теоретических построений, можно предположить, что роль экранов могли выполнять не только се-

кущие кварцевые жилы, но и секущие дайки диабаза, кварцевого порфира, лейкократового гранита и других изверженных пород (рис. 11). В связи с развитием в исследованном районе большого количества даек изверженных пород, число возможных «рудоловушек» значительно возрастает и в соответствии с этим могут быть резко расширены перспективы хрусталеносной провинции Приполярного Урала. Правда, этот прогноз пока опирается главным образом на теоретические предпосылки и весьма ограниченное число фактов, так как до сих пор никто из геологов-кварцевиков серьезно не занимался изучением хрусталеносности даек изверженных пород.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алешков А. Н. Геологический очерк района горы Неройка. «Приполярный Урал», 1937, № 6.
2. Беляков М. Ф. Парнукское месторождение горного хрусталя на Приполярном Урале. «Сов. геология», 1946, № 12.
3. Григорьев Д. П. Некоторые явления генезиса минералов в жилах. Записки Всесоюзн. мин. об-ва, 1954, ч. 83, № 3.
4. Карякин А. Е. Поисковые признаки кварцевых жил, хрустальных гнезд и минерализованных трещин Приполярного Урала. Записки ЛГИ, 1955, т. XXXI.
5. Карякин А. Е. Вмещающие породы — источник материала для минералов хрустальных гнезд, 1955, т. XXX, вып. 2.
6. Карякин А. Е. Об источнике кремнезема кварцевых жил и хрустальных гнезд Приполярного Урала. «Пьезооптическое кристаллосырье», 1958, т. II, вып. 1.
7. Карякин А. Е. Зависимость минеральных ассоциаций хрустальных гнезд Приполярного Урала от химического состава боковых пород. Записки ЛГИ, 1958, т. XXXIII, вып. 2.
8. Лазько Е. М. Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис. Изд. Львовского гос. ин-та, 1957.
9. Никитин В. Д. Особенности процессов формирования минералов при метасоматических явлениях. Кристаллография, 1955, вып. 4.
10. Смирнова В. А. Об ореолах выщелачивания около хрустальных гнезд Приполярного Урала. «Пьезооптическое кристаллосырье», 1958, т. II, вып. 1.
11. Хотенок М. М. Признаки хрусталеносности кварцевых жил и пегматитовых тел. «Пьезооптическое кристаллосырье», 1957, № 1.
12. Хотенок М. М. Поиски и разведка месторождений пьезооптического кварца. Изд. Львовского гос. ун-та, 1955.