Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, т. XXX, вып. 2, 1955

О ТВЕРДЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ В ИСЛАНДСКОМ ШПАТЕ

Доц. А. В. Скропышев

Изучение включений в минералах имеет большое теоретическое и практическое значение. Оно позволяет полнее расшифровать генезис минералов, а следовательно, и более правильно произвести промышленную оценку их месторождений. Изучение же включений в минералах, являющихся сырьем для оптической промышленности, и, в частности, в исландском шпате, особенно важно, так как при этом выясняется природа главнейших дефектов, препятствующих использованию кристаллов этих минералов для практических целей.

В исландском шпате широким распространением пользуются твердые, жидкие и газово-жидкие включения. В настоящей статье освещаются результаты изучения твердых включений.

Твердые включения в кварце прекрасно описаны Д. П. Григорьевым [3], А. Е. Карякиным [6] и Н. П. Ермаковым [5]. Твердые же включения в исландском шпате до сего времени подробно не изучались. Имеются лишь указания на их наличие в работах П. С. Сасима [7], А. Г. Штанделя [8] и некоторых других авторов.

Твердые включения по условиям образования прежде всего целесообразно разделить на первичные и вторичные (рис. 1). Первичные включения образовались при росте кристаллов, вторичные — в результате нарушений в уже сформировавшихся кристаллах.

Первичные твердые включения по характеру образования и положению в кристаллах исландского шпата, в свою очередь, могут быть разделены на следующие четыре группы.

1. Включения частиц, образовавшихся ранее кристаллов исландского шпата, находившихся на месте своего образования и захваченных позднее спокойно растущими кристаллами исландского шпата.

2. Включения «присыпки», аналогичные по характеру образования включениям, описанным Д. П. Григорьевым [1] для кварца. Минералы, оказавшиеся включенными в исландский шпат, образовались раньше, часть же из них, возможно, одновременно с кристаллами исландского шпата, расположившись над последними. При сотрясениях в земной коре минералы, расположенные над кристаллами исландского шпата, а также мелкие обломки породы отрывались от мест своего прикрепления и под действием силы тяжести падали на верхние грани кристаллов шпата. При последующем росте кристаллов исландского шпата осыпавшиеся обломки зарастали исландским шпатом и оказывались, таким образом, законсервированными в нем.

3. Включения минералов, кристаллы которых росли одновременно с кристаллами исландского шпата. В этом случае, очевидно, зародыши включенных минералов попадали на грани кристаллов исландского шпата и в последующее время росли с ним одновременно. Об их совместном росте свидетельствует наличие индукционных граней как у включенных кристаллов, так и у кристаллов исландского шпата. Включения такого происхождения встречаются довольно редко.

4. Мелкие кристаллы минералов, зародившиеся в растворе во взвешенном состоянии и, благодаря гравитационной силе, попавшие на верх-

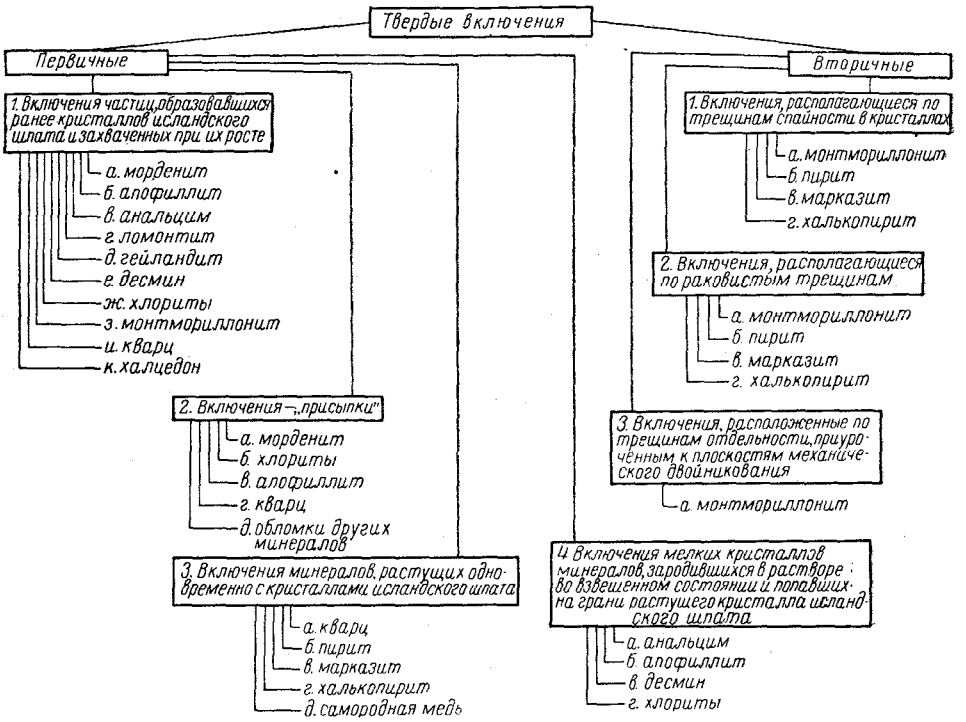


Рис. 1. Схема классификации твердых включений в исландском шпате

ние грани кристаллов исландского шпата. Основаниями для такого предположения являются: 1) исключительно совершенные формы мелких включенных кристаллов и отсутствие на их гранях каких-либо признаков прирастания к субстрату и 2) отсутствие индукционных граней, позволяющее считать, что рост включенных кристаллов происходил, возможно, одновременно, но отдельно от исландского шпата.

Ниже приводится более подробная характеристика различных типов твердых включений.

1. Первая группа твердых включений представлена большим числом минералов — апофиллитом, анальцимом, кварцем, халцедоном, морденитом, десмином, ломонтитом, гейландитом, хлоритами, монтмориллонитом и селадонитом, а иногда и обломками вмещающей породы. Эти минералы находились на стенках полостей и были захвачены растущими кристаллами исландского шпата. Характеристика включенных таким путем в исландский шпат минералов приводится ниже.

Апофиллит в исландском шпате обычно встречается в форме тетрагональных призм, размеры которых колеблются от очень малых до

1,5 *см* в поперечнике. Включенной в кристаллы исландского шпата обычно оказывается лишь верхняя часть призмы, а та часть, которая прирастает к субстрату, оказывается свободной (рис. 2).

Анальцим встречается в форме тетрагон-триоктаэдров и оказывается включенным в периферические части кристаллов исландского шпата там, где последние прирастают к субстрату (рис. 3). Размеры включенных кристаллов анальцима достигают 3 *см* в поперечнике. Такие включения характерны, главным образом, для кристаллов исландского шпата гнездового типа.

Халцедон и кварц чаще встречаются в кристаллах исландского шпата совместно. В таких случаях халцедон образует стержни диаметром до 5 *мм,* на которых располагаются мелкие (до 2 *мм*) зерновидные кристаллы кварца, образующие как бы шипы (рис. 4, 5). Такие стержни халцедона и кварца росли от стенки полости, а части их, отходящие от стенок, оказались включенными в кристаллы исландского шпата. В других случаях такие же зерновидные кристаллы кварца или же халцедон в виде сферолитов (шариков) бывают как бы нанизаны на волосовидные или игловидные тонкие кристаллы морденита, включенные также в кристаллы исландского шпата (рис. 6).

Определить кристаллографические формы зерновидного кварца не удалось из-за малых размеров кристаллов. Однако, по данным исследований в шлифах и определения оптических констант ($Nm = 1{,}543 \pm \pm 0{,}004$, оптически положительный, кварцевое двупреломление), принадлежность их к кварцу не вызывает сомнений.

Иногда халцедон натечной формы — не в ассоциации с кварцем — также бывает включен в кристаллы исландского шпата, но тогда он располагается лишь в периферических частях кристаллов. Отдельные кристаллы или друзы кварца (комбинации призм и ромбоэдров) также встречаются в исландском шпате. Такие образования, несомненно, возникали позднее халцедона, от которого они растут, и раньше кристаллов исландского шпата, включающего их, так как индукционные грани на кристаллах, свидетельствующие о совместном росте, отсутствуют.

Включения кварца и халцедона в незначительных количествах встречаются в кристаллах исландского шпата всех типов минерализации, но наибольшее распространение они имеют в кристаллах жильного, пластообразного и жеодового типов.

Морденит встречается в исландском шпате наиболее часто и особенно распространен в кристаллах гнездового и пластообразного типов.

Включения морденита имеют форму тончайших волосков или иголочек и располагаются в тех частях кристаллов исландского шпата, которыми последние прирастают к субстрату. Здесь в исландском шпате волосовидных кристаллов морденита настолько много, что они образуют спутанный агрегат, напоминающий войлок или вату. Далее, по направлению к центру кристалла исландского шпата, количество «волосинок» морденита убывает, и сравнительно редко их удается обнаружить глубже чем на 5—6 *см* от поверхности кристалла. На волосовидных кристаллах морденита иногда располагаются зерновидные кристаллы кварца и шаровидные стяжения халцедона. Кроме того, во многих случаях на включенные в исландский шпат удлиненные кристаллы морденита как бы нанизаны образования хлорита сфероидальной формы (рис. 7) или весьма совершенной формы мелкие таблитчатые кристаллы десмина (рис. 8).

В местах перекрещивания волосовидных кристаллов морденита нередко удается заметить скопления (в виде треугольника) темной землистой

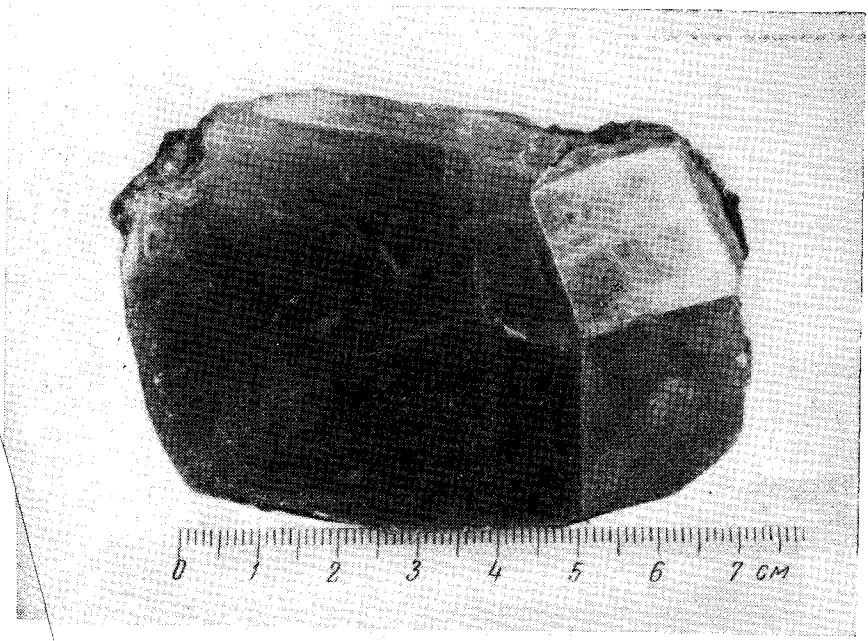


Рис. 2. Включения апофиллита в кристалле исландского шпата

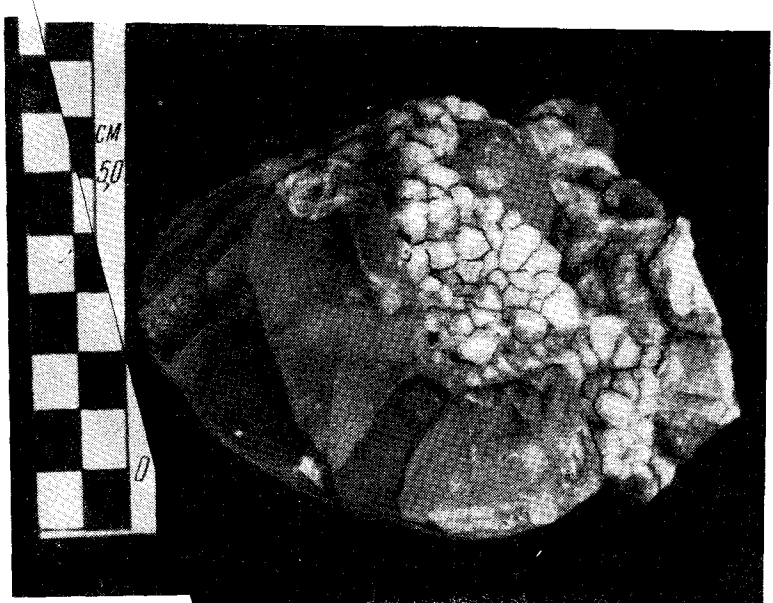


Рис. 3. Включения анальцима в кристалле исландского шпата



Рис. 4. Включения в исландском шпате (увеличено в 48 раз);
И — исландский шпат; *К* — кварц; *М* — морденит; *ХЛ* — хлорит



Рис. 5. Включения в исландском шпате (увеличено в 48 раз):
И — исландский шпат; *Х* — халцедон

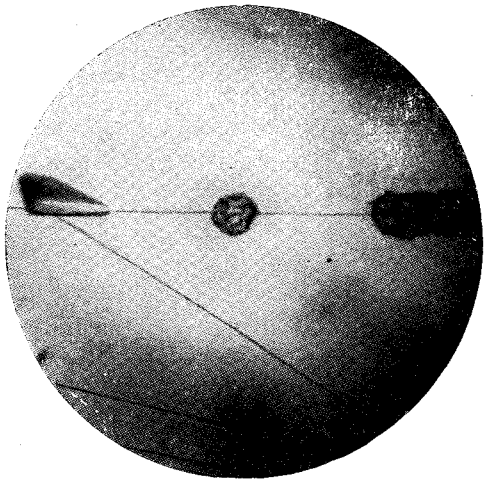


Рис. 6. Включения морденита и халцедона в исландском шпате (увеличено в 48 раз)

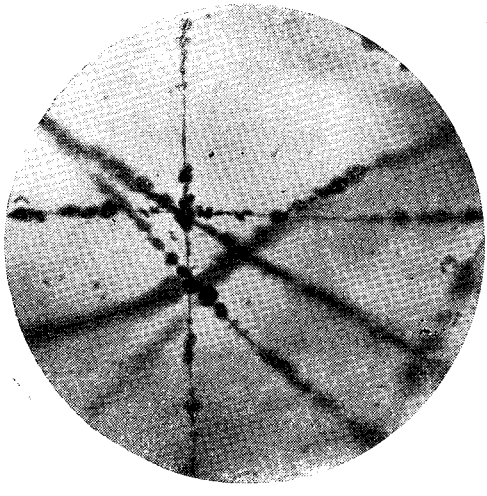


Рис. 7. Включения морденита и хлоритов в исландском шпате (увеличено в 48 раз)

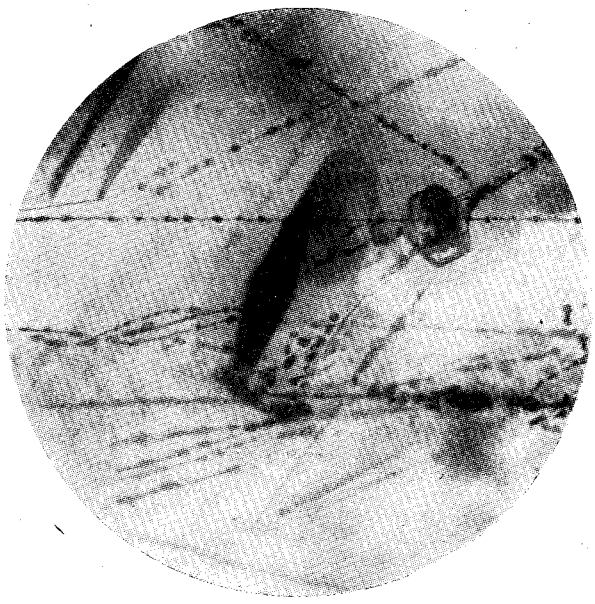


Рис. 8. Включения десмина, морденита и хлоритов в исландском шпате (увеличено в 48 раз)

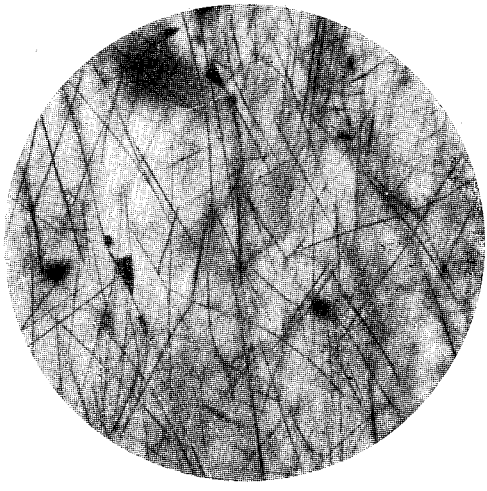


Рис. 9. Включения морденита и глинистого вещества в исландском шпате (увеличено в 48 раз)

массы (вероятно, монтмориллонита, так как глинистые минералы на месторождениях относятся в основном к монтмориллонитовой группе) или жидкие включения (рис. 9). Последние расположены также в местах перекрещивания «волосинок» морденита или как бы прилипают к отдельным удлиненным кристаллам морденита.

Наличие жидких включений в местах перекрещивания кристаллов морденита свидетельствует о том, что морденит был образован раньше кристаллов исландского шпата, так как капельки раствора могли быть включенными в этом случае только тогда, когда кристаллы морденита уже существовали и вместе с раствором, закрепившимся между волосками морденита, были позднее захвачены кристаллом исландского шпата.

Десмин встречается в периферических частях кристаллов исландского шпата — у мест прирастания. Кристаллы десмина имеют форму табличек с символами (110), (001), (010). Во многих случаях они оказываются частично или полностью включенными в исландский шпат. Иногда эти мелкие таблитчатые кристаллы оказываются как бы «нанизанными» на тонкие иголочки морденита и вместе с ними включены в исландский шпат; в этом случае они проникают в кристаллы исландского шпата на глубину до 5 *см*. Кристаллы десмина имеют совершенную огранку и индукционных граней на них не наблюдается, что свидетельствует о разновременности образования кристаллов десмина и исландского шпата.

Ломонтит, гейландит, хлориты, монтмориллонит и селадонит иногда слагают субстрат, на который нарастают кристаллы исландского шпата. Первые два минерала обычно образуют совершенные кристаллы, часть которых оказывается захваченной позднее растущими кристаллами исландского шпата.

Хлориты часто образуют сфероидальные шарики, нарастают на «иголочки» морденита и вместе с ними также оказываются включенными в исландский шпат. Минералы монтмориллонитовой группы и селадонит обычно располагаются по стенкам полостей и в том случае, когда они слагают выступы этих полостей, оказываются также захваченными растущими кристаллами исландского шпата. Монтмориллонит, как указывалось, нередко включен в исландский шпат вместе с морденитом и расположен на месте пересечения его кристаллов.

2. Вторая группа включений («присыпки») бывает представлена следующими минералами: апофиллитом, анальцимом, кварцем, морденитом, хлоритами и обломками других, не определенных нами минералов. Все они располагаются по одной или двум различным граням кристаллов исландского шпата, причем иногда в одном кристалле эти «присыпки» образуют две или даже три параллельные зоны, что свидетельствует о неоднократном сотрясении пород в период роста кристаллов исландского шпата.

Апофиллит довольно часто образует подобные включения. В отдельных зонах роста кристаллов исландского шпата можно наблюдать обломки тетрагональных призм апофиллита, иногда со следами растворения на поверхности. Встречаются кристаллы апофиллита, вероятно, упавшие на тонкие игловидные кристаллы морденита, а позднее вместе с морденитом захваченные растущим кристаллом исландского шпата (рис. 10). На подобные же явления в кристаллах кварца указывает Д. П. Григорьев [2].

Анальцим в качестве «присыпки» в исландском шпате был встречен в двух случаях вместе с обломками кристаллов апофиллита. Кристаллы анальцима имели форму тетрагон-триоктаэдров. Размеры одного из них достигали 3 *мм* в поперечнике.

Кварц в виде обломков был встречен в исландском шпате совместно с апофиллитом и без него. Размеры зерен кварца редко превышали 2 *мм*.

Морденит в виде «присыпки» в кристаллах исландского шпата встречается сравнительно редко. Однако и в этих редких случаях наличие его в зонах роста кристаллов создает весьма эффектную картину.

Кристалл исландского шпата одного из месторождений имел достаточно четкие, хотя и закругленные грани ромбоэдра. Размер его достигал 30 *см* по тройной оси. После того как кристалл был расколот по спайности, обнаружилось, что параллельно граням роста внутри кристалла проходят восемь зон. Четыре из них, считая от периферии к центру кристалла, отмечаются по наличию легкого, едва заметного помутнения, вызванного скоплением мельчайших жидких включений. Пятая, шестая и седьмая зоны представлены довольно узкими полосами желтой окраски, чередующимися с бесцветными зонами, расположенными также параллельно граням роста кристалла. В пределах этих желтых полос наблюдаются газово-жидкие включения, размеры которых достигают 0,1 *мм*. Интересно, что газово-жидкие включения расположены рядами по полосам желтой окраски и вытянуты в направлении оси третьего порядка кристалла.

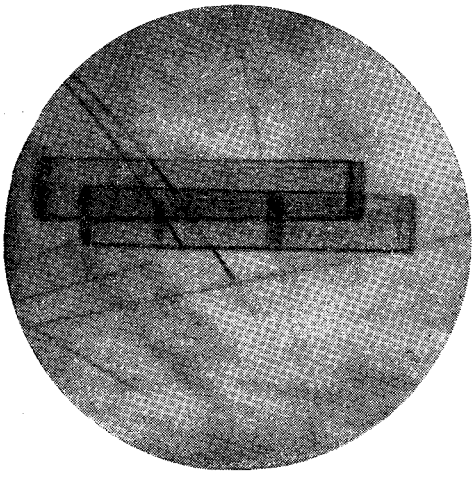


Рис. 10. Кристалл апофиллита на игловидных кристаллах морденита в исландском шпате (увеличено в 48 раз).

Восьмая зона расположена ближе к месту прирастания кристалла. Она имеет ширину около 10 *мм* и параллельна граням роста кристалла исландского шпата. В этой зоне находятся игловидные и, в том случае, когда они не прямолинейны, а изогнуты, — волосовидные кристаллы морденита. Их длинные оси почти всегда параллельны граням роста вмещающего кристалла исландского шпата, но часть из них располагается наклонно. Включений морденита здесь настолько много, что при просмотре невооруженным глазом они кажутся паутиной. Однако уже в лупу десятикратного увеличения видны отдельные удлиненные кристаллы морденита (рис. 11).

Интересно отметить, что при взаимном пересечении удлиненных кристаллов морденита здесь также наблюдаются газово-жидкие включения, имеющие в плане треугольные очертания.

Непосредственно у места прирастания к субстрату в кристалл исландского шпата включены игловидные кристаллы морденита, относящиеся к первой группе включений (т. е. образовавшиеся ранее исландского шпата), оставшиеся на месте и позднее захваченные растущим кристаллом исландского шпата. В этой части кристалла шпат полупрозрачный, а непосредственно у места прирастания — непрозрачный.

Приведенное описание зональности в кристалле исландского шпата позволяет в некоторой мере восстановить историю его роста.

До образования исландского шпата на стенках полости росли кристаллы гейландита и морденита. Позднее рост этих минералов прекра-

тился и на них (в нижней части полости) начал развиваться кристалл исландского шпата. Отсюда можно сделать вывод о том, что раствор находился в спокойном состоянии. Об этом свидетельствует и сохранность тончайших «иголочек» морденита, хрупкие кристаллы которого при движении раствора, несомненно, были бы деформированы. Через некоторое

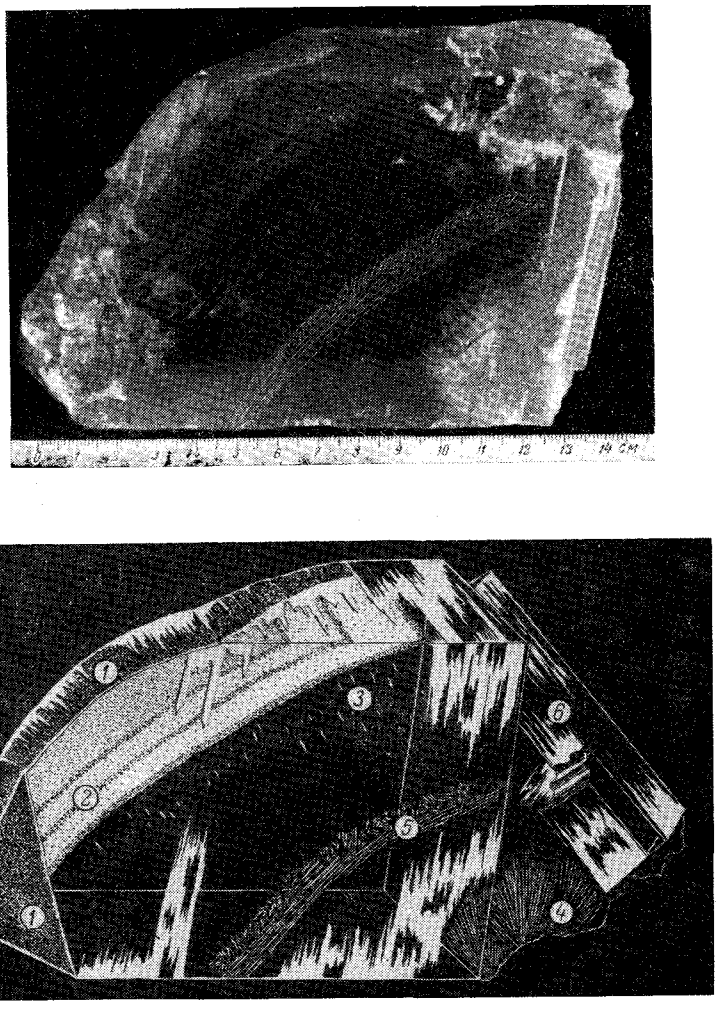


Рис. 11. Зональное расположение твердых и жидких включений в кристалле исландского шпата:
а — общий вид (фото); *б* — зарисовка:
1 — грани роста кристалла; *2* — зоны помутнения; *3* — жидкие включения; *4* — включения морденита первого типа; *5* — включения морденита второго типа; *6* — трещины по спайности (рисунок Г. Н. Беднова)

время произошло сотрясение всей этой системы. Кристаллы морденита, которые росли в верхней части полости, отламывались от мест своего прикрепления и под действием силы тяжести медленно падали (в жидкой среде) вниз. Часть из них попадала на верхние грани растущего кристалла исландского шпата и при последующем росте была захвачена им. Рост кристалла исландского шпата продолжался. Состав и температура раствора, вероятно, не были постоянными. Об этом свидетель-

ствует наличие еще семи зон, характерных отличной окраской или помутнением.

Хлориты в виде «шариков» размером до 3 *мм* в диаметре встречаются в качестве «присыпок» совместно с мелкими обломками кристаллов других минералов и располагаются на верхних гранях кристаллов шпата. Они попали в кристалл исландского шпата во время роста последнего, о чем свидетельствует их расположение по зонам, параллельным граням. В других же случаях мелкие шаровидные агрегаты обнаруживаются на близко расположенных «волосовидных» кристаллах морденита, впоследствии захваченных (вместе с хлоритом) растущим кристаллом исландского шпата и оказавшихся включенными в него. Хлорит в этом случае, вероятно, упал с верха полости на волосовидный агрегат морденита, расположенный в низу полости. Следовательно, кристаллы морденита в этом случае должны быть отнесены к первой группе включений, а хлорит — ко второй.

3. Третья группа включений представлена лишь кварцем и минералами класса сульфидов. Возможно, к этой же группе включений относится и самородная медь.

Включения кварца в исландском шпате, образовавшиеся при совместном росте этих двух минералов, встречаются в единичных случаях и только в жильном типе минерализации. Так, на одном месторождении в жиле нами был обнаружен кристалл исландского шпата — ромбоэдр (12 *см* по ребру). Почти в центральной части кристалла исландского шпата располагался полупрозрачный кристалл кварца, имеющий форму призмы, а в верхней части — ромбоэдра. Эта (верхняя) часть кристалла имеет слегка фиолетовый цвет, в связи с чем приближается к аметисту. Поперечные размеры призмы достигают 1 *см*. На гранях призмы, а также на кристалле исландского шпата, в том месте, где он соприкасается с кристаллом кварца, отчетливо видны индукционные грани. Это свидетельствует об одновременном росте обоих минералов.

Интересно отметить, что зарождение кварца произошло на грани кристалла исландского шпата. Следовательно, вначале рос кристалл исландского шпата, а позднее, уже на его грани, зародился кристалл кварца. Затем оба эти минерала росли одновременно, причем кристалл кварца постепенно разрастался, увеличиваясь в поперечных размерах. Увеличение кристалла кварца происходило за счет пространства кристалла кальцита. Может быть это явление свидетельствует о большей кристаллизационной силе кварца по сравнению с кальцитом [3].

Минералы из класса сульфидов, образующие в исландском шпате включения третьей группы, представлены, главным образом, пиритом, марказитом и халькопиритом. Вместе с ними, хотя и очень редко, встречаются мелкие включения самородной меди.

Указанные минералы расположены в кристаллах исландского шпата по зонам роста, причем не по одной какой-либо плоскости, а по двум или даже трем бывшим граням кристалла.

Размеры кристаллов включенных минералов невелики и лишь иногда достигают 1 *мм* в поперечнике, поэтому изучение их приходится вести при помощи микроскопа. Кристаллы имеют в основном неправильную форму и иногда встречаются октаэдры и кубы. От основного кристалла обычно отходят своеобразные, более тонкие отростки, направленные к периферическим частям кристалла исландского шпата (рис. 12). На поверхности кристаллов удается обнаружить индукционные грани, что позволяет считать рост кристаллов сульфидов и исландского шпата одновременным.

Включения самородной меди в исландском шпате были встречены вместе с сульфидами лишь в двух случаях [1]. Дендритообразные включения меди имели размеры не более 0,1 *мм*.

Подобные включения кристаллов сульфидов в некоторых случаях расположены в нескольких зонах. Иногда таких зон в отдельных кристаллах исландского шпата насчитывается до пяти. В связи с этим можно говорить о пяти моментах зарождения кристаллов сульфидов в период роста одного кристалла исландского шпата [4].

Совместный рост кристаллов сульфидов и исландского шпата продолжался очень недолго, что определяется величиной самих кристаллов сульфидов. Затем сульфиды зарастали веществом исландского шпата, кристаллизовавшимся некоторое время свободным от этих включений. Далее на гранях исландского шпата происходило новое зарождение кристаллов сульфидов, совместный рост которых с исландским шпатом продолжался также недолго, и т. д.



Рис. 12. Включения кристаллов сульфидов в исландском шпате

4. Включения четвертой группы в исландском шпате встречаются сравнительно часто и представлены мелкими, но прекрасно образованными прозрачными кристаллами анальцима, апофиллита, десмина и других, точно не определенных минералов, и, возможно, — сферолитами хлоритов.

Все эти включения минералов расположены в различных частях кристаллов исландского шпата без видимой закономерности. Кристаллы первых трех указанных минералов имеют размеры от весьма малых, едва различимых при микроскопическом изучении, до 1 *мм*. Они в виде единичных кристаллов или групп (несколько сравнительно близко расположенных кристаллов) как бы плавают в исландском шпате.

Принадлежность кристаллов к апофиллиту, анальциму и десмину устанавливается по весьма характерным для этих минералов кристаллографическим формам. Апофиллит имеет форму тетрагональной призмы, анальцим образует в кристаллах тетрагон-триоктаэдры, а кристаллы десмина имеют весьма характерные для этого минерала таблитчатые формы.

Ни у одного (их просмотрено около сотни) из таких включенных кристаллов не было замечено на гранях индукционной штриховки. Следовательно, образование их разновременно с формированием включающего кристалла исландского шпата.

Доказательством того, что эти кристаллы — включения — не относятся ни к одной из трех приведенных выше групп, а зародились во взвешенном состоянии в растворе, могут служить следующие обстоятельства:

1. Исключительно правильное развитие кристаллов и отсутствие на их гранях следов прирастания к субстрату, которые обычно наблюдаются у кристаллов, растущих на твердом основании.

2. Относительно малые размеры включенных кристаллов. Правда, размеры встречающихся иногда (включенных) кристаллов этой группы

[1] Изучение подобных включений производилось нами (при участии А. Ф. Михалевой) в небольшом объеме. Может быть наличие самородной меди в исландском шпате не является большой редкостью.

достигают 1 *мм*. Кристаллы таких размеров обладали относительно большой массой и нахождение их во взвешенном состоянии в растворе представить себе трудно. Может быть, находясь во взвешенном состоянии в растворе, кристалл имел значительно меньшие размеры. Попав же на грань кристалла кальцита, он некоторое время рос и одновременно отодвигался вследствие кристаллизационной силы кристалла исландского шпата. Затем наступил момент, когда кристаллизационной силы кальцита уже было недостаточно, чтобы отодвигать сравнительно крупный к тому времени кристалл, лежавший на его грани, и кальцит начал его обрастать. Кристалл же «узник» по каким-то причинам прекратил свой рост.

3. Включенные кристаллы (в тех случаях, когда это можно было установить) расположены по верхним граням кристаллов исландского шпата, причем чаще кристаллы «узники» вытянуты параллельно граням роста кристаллов исландского шпата.

Мелкие сфероидальные кристаллы минералов из группы цеолитов и сферолиты хлоритов также сравнительно часто оказываются включенными в исландский шпат. Условно относимые к этой группе включений указанные минералы не приурочены к каким-либо зонам, а расположены, как и мелкие кристаллы апофиллита, анальцима и десмина, без видимой закономерности — по одному или группами в несколько шариков. Точно определить эти мелкие включения, за исключением хлоритов, не удалось.

Ко второму типу твердых включений относятся минералы, расположенные по различным трещинам в кристаллах исландского шпата. Они немногочисленны, по сравнению с первым типом твердых включений, и не играют существенной роли. По трещинам спайности, раковистым трещинам или трещинам отдельности в кристаллы исландского шпата иногда проникают высокодисперсные глинистые минералы (монтмориллонитовой группы). Расположение этих включений в кристалле исландского шпата зависит от характера трещины. В некоторых случаях трещины бывают залечены, и отнесение этих включений ко второму типу может быть произведено по их положению в кристалле. Они располагаются по плоскостям, параллельным спайности кристалла, по ровной или волнистой поверхности (напоминающей раковистый излом) или же по плоскостям $\{01\bar{1}2\}$ — диагонально к плоскостям спайности кристалла.

По трещинам спайности и раковистым трещинам в кристаллах исландского шпата иногда наблюдаются мелкие кристаллы сульфидов (пирит, марказит, халькопирит). Эти минералы образовались после исландского шпата за счет растворов, проникавших по трещинам, и относятся также ко второму типу твердых включений.

Как видно из изложенного, изучение твердых включений позволяет уточнить ряд существенных вопросов генезиса исландского шпата, а также объяснить природу дефектов в оптическом материале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Д. П. Некоторые наблюдения результатов гравитационного передвижения кристаллов в жилах альпийского типа на Приполярном Урале. Доклады АН СССР, 1944, т. 44, № 5.
2. Григорьев Д. П. Некоторые проявления влияния силы тяжести на образование и распределение минералов в месторождениях. Записки Всесоюзного минералогического общества. 1946, ч. 75, № 2.

3. Григорьев Д. П. Кристаллизационная сила минералов. «Природа», 1950, № 11.
4. Григорьев Д. П. Что известно о зарождении минералов. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1951, ч. 80, № 1.
5. Ермаков Н. П. Использование дефектов в кристаллах флюорита для изучения естественной истории минерала. Минералогический сборник Львовского геологического общества, 1948, № 2.
6. Карякин А. Е. Зарождение, рост и разрушение кристаллов кварца. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1954, ч. 83, № 1.
7. Сасим П. С. Исландский шпат с р. Н. Тунгуски. «Минеральное сырье», 1938, № 2.
8. Штандель А. Г. Остатки диатомовых водорослей в кристаллах исландского шпата. Доклады АН СССР, 1939, т. 25, № 2.