Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 2, 1974 г.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ИСЛАНДСКОГО ШПАТА И ЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Доктор геол.-мин. наук А. В. СКРОПЫШЕВ
(Ленинградский горный ин-т)

Исландский шпат, являющийся прозрачной разновидностью кальцита, характеризуется рядом важных свойств, которые обусловливают области использования его в науке и технике, а также особенности изучения месторождений, их промышленного освоения и обработки кристаллов. Уникальные оптические свойства минерала — прозрачность в широком диапазоне световых волн, высокое двупреломление, сравнительная однородность — позволяют использовать его в очень ответственных приборах, применяемых во многих уже существующих и вновь создаваемых отраслях науки и техники: физическая оптика, квантовые генераторы, оптиэлектроника и др.

Высокая чувствительность к резким изменениям температуры, давления и к другим физико-химическим воздействиям требует особых условий для образования и сохранения месторождений этих совершенных кристаллов. Известно, что кальцит — весьма распространенный, а часто даже породообразующий минерал. Совершенные же крупные кристаллы исландского шпата являются сравнительной редкостью. Они характеризуются сложностью геологического строения, большой изменчивостью геологопромышленных параметров и крайним разнообразием размеров, формы и внутреннего строения отдельных кристаллов.

Эти свойства кристаллов исландского шпата и его месторождений заставляют разрабатывать особые методы и технические средства для поисков, разведки, оценки, промышленного освоения месторождений, обработки кристаллов и для изготовления оптических деталей.

Главнейшее свойство кристаллов исландского шпата — высокое двупреломление — было известно с середины семнадцатого столетия. Однако долгое время оно использовалось ограниченно: в поляризационных микроскопах, простейших полярископах, сахариметрах, калориметрах и фотометрах. Серьезным толчком к освоению месторождений исландского шпата явилось его применение в военной индустрии. В 1941—1944 гг. на обширных площадях в Мексике, США, Южной Африке и в некоторых других странах осуществлялись поиски, разведка и промышленное освоение выявленных месторождений. Потребность в кристаллах исландского шпата значительно возросла в последние годы в результате стремительного развития науки, открытия новых методов исследования и изобретения новых приборов.

Сейчас исландский шпат применяется в физической оптике, радиоэлектронике, химии, биологии, медицине, астрономии, космонавтике, счетно-решающей технике, технике связи, минералогии, петрографии и др. Он используется для получения и анализа поляризованного света, для модуляции излучения и быстродействующих затворов оптических квантовых генераторов, для приборов непрерывного дискретного сканирования света, для узкополосных интерференционно-поляризационных светофильтров и для ряда других целей.[1]

В Советском Союзе использование исландского шпата в промышленных количествах началось в середине 30-х годов. Тогда же начались поиски, разведка и промышленное освоение месторождений этого полезного ископаемого. В 1935—1938 гг. нашу промышленность, хотя и в небольшом количестве, целиком снабжали этим сырьем южные районы страны (Северный Кавказ, Южный Казахстан, Памир).

В пределах Сибирской платформы исландский шпат был известен с 1873 г. по материалам А. Л. Чекановского, а позднее по результатам исследований И. М. Суслова, М. П. Кравкова, В. П. Левского и др. Однако систематические, планомерные геологические исследования Сибирской платформы, ставящие целью выявление месторождений исландского шпата, начались с 1939 г. экспедицией Ленинградского геологоразведочного треста нерудных ископаемых. Эта экспедиция в течение семи лет выполняла значительные поисковые, разведочные и эксплуатационные работы в области распространения лавовых покровов. Были выявлены промышленные месторождения и установлено, что на указанной территории располагается крупнейшая в мире шпатоносная провинция.

Изучение Восточно-Сибирской шпатоносной провинции возобновилось в 1951 г. и продолжается до настоящего времени 20-й экспедицией 6-го Всесоюзного производственного объединения МГ СССР, а также геологическими экспедициями других ведомств (Дренов Н. В., Атабаев К. К., Плакин Ф. П., Иванов А. И., Межвилк А. А. и др.). Наряду с обычными геологическими исследованиями широко используются аэрогеологические методы, проводятся аэромагнитные (Каспарова Е. А., Замиралов Ю. Н., Кириллов А. С.) и наземные геофизические (Борисов Б. А. и др.) исследования, разведываются наиболее перспективные месторождения (Бабин А. И., Киевленко Е. Я., Раскина Р. Г., Золотарев Д. А. и др.), осуществляется их промышленное освоение (Золотухин И. А., Осипов В. В., Ставровский В. П. и др.). Кроме того, в содружестве с экспедицией № 20 научные исследования проводятся в Ленинградском горном институте: изучается геологическое строение, минералогия, кристаллография и условия образования месторождений (Шафрановский И. И., Михеев В. И., Мокиевский В. А. и др.), выявляются геологические закономерности пространственного распределения месторождений, разрабатываются методы поисков, разведки месторождений и их промышленной оценки, изучаются физико-технические свойства кристаллов[2] и изыскиваются новые способы проходки разведочных и эксплуатационных выработок, обеспечивающие сохранность кристаллов исландского шпата (Боровиков В. А., Дядькин Ю. Д., Чемоданов Н. А.

---

[1] Иоффе С. Б., Домбровская М. М. Широкоугольный интерференционно-поляризационный фильтр со смещенной по спектру полосой пропускания для астрофизических исследований. Оптико-механическая промышленность, 1958, № 12.

[2] Скропышев А. В. Экспериментальные исследования некоторых технических свойств оптического исландского шпата. Зап. ЛГИ, т. 29, вып. 2, 1953. Скропышев А. В. Исландский шпат. Л., «Недра», 1973.

и др.), проводятся работы по устранению некоторых дефектов кристаллов (Хитров И. Н., Чашников О. Н., Скропышева Н. Н. и др.), создается более совершенная технология обработки кристаллов, а также разрабатывается аппаратура и способы оценки качества оптического материала (Островский Ю. И.). Не имея возможности дать полную характеристику результатов изучения кристаллов исландского шпата и его месторождений, остановимся кратко на описании лишь важнейших из них.

Главнейшие закономерности пространственного распределения месторождений. Имеющиеся фактические материалы позволяют выделить региональные и локальные факторы, контролирующие размещение месторождений и определяющие их геологопромышленные особенности. Перечислим главнейшие из них.

1. Все наиболее крупные и ценные шпатоносные провинции земного шара располагаются в областях развития сравнительно недавней вулканической деятельности: Сибирская платформа, Южная Африка, Исландия и др.

2. Состав вулканических образований, вмещающих месторождения, как правило, основной: долериты, базальты, латиты и другие, а также их туфы.

3. Возраст вулканических образований этих провинций сравнительно молодой — не древнее триаса, а обычно еще моложе и даже четвертичный. В более древних областях вулканической деятельности (например, девонского возраста — Тиман) если и известны месторождения исландского шпата, то они нарушены последующими тектоническими процессами и не имеют промышленного значения.

4. Менее ценные и небольшие по масштабу месторождения исландского шпата встречаются в карбонатных осадочных, а также и других кальцитосодержащих породах.

5. Промышленные кристаллы исландского шпата выделяются при низкотемпературных гидротермальных процессах; рост их происходит в свободных полостях из водных растворов. Кристаллы, образующиеся при метасоматических процессах, характеризуются значительной неоднородностью и не представляют промышленной ценности. В рудных месторождениях, во многих из которых кальцит является весьма распространенным жильным минералом, промышленно-ценных кристаллов, содержащих оптический материал, как правило, не образуется. Однако известны месторождения, в которых на первых этапах происходили процессы скарнообразования, но после значительного перерыва, тектонического дробления ранее образованных минералов и резкого изменения физико-химической обстановки в них образовывались весьма совершенные и ценные кристаллы исландского шпата.

6. Исследования многочисленных месторождений и данные лабораторных анализов свидетельствуют о том, что образование скоплений совершенных кристаллов исландского шпата может происходить в довольно узких пределах изменения температуры, давления, состава, концентрации и при очень малой подвижности растворов. Даже незначительные изменения в режиме кристаллизаций обычно создают неоднородность кристаллов, а резкие перепады в физико-химической обстановке могут вызывать спонтанную кристаллизацию мелких непрозрачных кристаллов кальцита. Образование наиболее совершенных кристаллов происходило при температурах 100—150° С и при давлении, составляющем единицы или первые десятки атмосфер. Понятно, что такие условия могли быть лишь на небольших глубинах, и рост кристаллов происходил в сравнительно замкнутых полостях.

Фактические материалы показывают, что в отдельных регионах (например, в Мексике) рудные тела с промышленно-ценными кристаллами образовывались в пределах гипсометрических высот около 300 *м*. Имеющиеся данные по разведке и разработке отдельных рудных тел свидетельствуют о том, что промышленно-ценные кристаллы распространяются на глубину не более 30—40 *м*. Часть рудных тел была эродирована эрозионными процессами; учитывая это, можно сказать, что предельная протяженность кристаллоносных полостей на глубину не превышает 100 *м*.

7. Месторождения исландского шпата, связанные с основными изверженными породами, в пределах Сибирской платформы располагаются в эффузивных лавовых покровах, в малых интрузиях долеритов или в туфогенных отложениях, являющихся продуктом вулканических извержений центрального типа.

Месторождения, связанные с лавовыми покровами, приурочены к нижним горизонтам лавовой толщи, мощность которой редко превышает 150 *м*. Эти нижние горизонты толщи характеризуются значительным развитием шаровых лав, сравнительно небольшой мощностью отдельных лавовых покровов (10—15 *м*) и наличием в их кровле довольно мощных миндалекаменных базальтов (мандельштейнов).

В этой части разреза лавовой толщи широко развита гидротермальная минерализация, выразившаяся в хлоритизации, цеолитизации, кальцитизации, особенно пористых мандельштейнов и шаровых лав; наиболее крупные скопления кристаллов исландского шпата бывают приурочены к местам коробления, к перегибам лавовых покровов. Но так как лавовые покровы залегают в основном горизонтально, то и шпатоносная минерализация приурочена к определенным горизонтам, занимающим площади иногда в несколько квадратных километров.

Особо следует подчеркнуть, что средние части лавовых покровов, представленные плотными, сравнительно хорошо раскристаллизованными базальтами, практически лишены гидротермальной минерализации.

Приуроченность месторождений к нижним горизонтам толщи объясняется, с одной стороны, тем, что вышележащие покровы экранировали поднимавшиеся с глубины растворы, а с другой — наличием здесь наиболее пористых образований: шаровых лав и мандельштейнов, являющихся благоприятными породами для гидротермальной переработки их под воздействием восходящих гидротерм.

Гипобиссальные малые секущие интрузии, располагающиеся на площадях развития туфогенных отложений, с которыми также бывают связаны месторождения исландского шпата, характеризуются рядом особенностей. Эти интрузии прорывают туфогенные отложения и являются наиболее поздними фазами траппового магматизма. Форма интрузивных тел различна. Иногда они образуют довольно ровные, кулисообразно залегающие дайки мощностью, измеряемой единицами, редко первыми десятками метров, и общей протяженностью в десятки километров; в других случаях — линзовидные тела мощностью первых сотен метров и длиною до километра; встречаются также штокообразные, куполовидные образования. Такие интрузии бывают в той или иной степени дифференцированы и состоят из долеритовых порфиритов, габбродолеритов, тешенитов и палагонитовых долеритов.

Важно подчеркнуть, что мощные пластовые интрузии, широко распространенные среди палеозойских и триасовых отложений, практически не содержат скоплений исландского шпата. Объяснить это можно тем, что крупные пластовые интрузии образовались в более ранние фазы

интрузивной деятельности, когда магма имела несколько иной состав и была бедна летучими компонентами.

Для месторождений, располагающихся непосредственно в туфогенных отложениях, важным фактором является литологический состав вмещающих и подстилающих пород. Наибольшее число их располагается в крупнообломочных агломератовых туфах. Последние не представляют собой выдержанных горизонтов, а слагают отдельные локальные участки и, вероятно, являются прижерловыми фациями, свидетельствующими о близости вулканических аппаратов центрального типа.

Главнейшими же факторами, контролирующими пространственное распределение всех типов месторождений исландского шпата, несомненно, являются структурные. Крупные региональные структуры, преимущественно протяженные зоны разломов контролируют размещение эффузивных и интрузивных пород, с которыми пространственно и генетически связаны месторождения.

Кальцитоносные поля, а также протяженные зоны, к которым приурочены месторождения, контролируются более локальными, но также довольно крупными структурами. Так, кальцитоносные поля, связанные с лавовыми покровами, располагаются в тех местах, где нижележащие туфогенные породы образуют антиклинальные куполовидные складки (например, Алюнское, Нидымское поднятия). Горизонтально залегающие лавовые покровы здесь несогласно располагаются на туфогенных отложениях. Вероятно, такие антиклинальные структуры в туфогенных породах создавали благоприятные условия для поступления гидротермальных растворов с глубины. Возможно, путями поступления растворов были линейные разломы, часть из которых ранее использовалась магмой при трещинных излияниях и при внедрении интрузий. Непосредственно на месторождениях установлены мелкие разрывные дорудные и интерминерализационные нарушения со смещением по вертикали до 3 *м*. Возможно также, что рудоподводящими каналами являлись жерла вулканов, по которым ранее происходило извержение туфогенного материала, а также кальдерные структуры. Наконец, нельзя считать доказанным, что линзообразные скопления шаровых лав образовывались только при трещинных излияниях лавы в водную среду. Более вероятно, что образование таких пород в ряде случаев происходило при извержениях центрального типа. А если это так, то наличие минерализованных шаровых лав является доказательством поступления гидротермальных растворов по тем же каналам, по которым поступал материал для образования шаровых лав.

Структурами, контролирующими размещение малых интрузий, минерализованных зон и месторождений, располагающихся в полях развития туфогенных отложений, являются: 1) прямолинейные, обычно вертикальные дорудные зоны дробления, протяженность которых измеряется иногда десятками километров, а ширина — сотнями метров; 2) структуры кальдерных разрывов, по которым возникают криволинейные полукольцевые, кольцевые и радиальные зоны дробления туфогенных пород; к ним иногда приурочены дайки долеритов; протяженность их может быть различная, измеряемая иногда километрами; 3) жерловые структуры, приуроченные к протяженным линейным зонам разломов. Такие структуры обнаруживаются обычно с трудом. О близости вулканических каналов обычно свидетельствует наличие крупных эруптивных обломков пород более древнего возраста (песчаников, глинистых и углистых сланцев, иногда известняков и др.).

Важно особенно подчеркнуть, что промышленная ценность месторождений очень сильно зависит от степени и характера развития пост-

рудных тектонических движений. Уникальные, промышленно-ценные месторождения встречаются лишь в областях, не подвергавшихся пострудным нарушениям.

Можно утверждать, что кристаллы исландского шпата месторождений, связанных с карбонатными осадочными породами или с основными изверженными породами, но располагающихся в тектонически подвижных областях (Северный Кавказ и Закавказье, Крым и т. п.), в значительной степени разрушены пострудными тектоническими движениями.

В результате поисковых работ в различных районах Советского Союза и особенно в пределах Сибирской платформы выявлено много месторождений исландского шпата. Часть этих месторождений разведана и подготовлена к эксплуатации. Причем доказано, что некоторые являются уникальными как по качеству, так и по количеству заключенных в них запасов оптического материала.

На основании указанных выше геологических закономерностей и анализа имеющегося фактического материала составлена карта прогноза месторождений исландского шпата на Сибирской платформе, при этом выделены большие территории, перспективные для выявления крупных промышленных месторождений.

Результаты изучения кристаллов исландского шпата. Изучение внешней и внутренней морфологии кристаллов исландского шпата всех главнейших месторождений позволило установить следующее.

1. Исландский шпат встречается в кристаллах только скаленоэдрического, призматического, дипирамидального и ромбоэдрического габитусов. Лишь на мексиканских месторождениях известны еще пластинчатые (пинакоидальные) кристаллы.

2. Оптический материал содержится в основном в крупных кристаллах-двойниках. Монокристаллы, как правило, встречаются очень мелких размеров (в сотни раз меньше кристаллов-двойников) и не содержат оптически годных разностей. Исключение составляет лишь одно месторождение — Железная Гора, где оптические разности исландского шпата содержатся в крупных (до 100 *кг* весом) дипирамидальных монокристаллах.

3. Внутреннее строение кристаллов обычно довольно сложное и своеобразно для каждого отдельного месторождения. Оно характеризуется наличием зон роста, отличающихся по степени окраски, по показателю преломления, по характеру твердых или газово-жидких включений и т. д. Наиболее однородный материал обычно бывает приурочен к определенным пирамидам роста.

4. В кристаллах различных месторождений в той или иной степени бывают развиты первичные и вторичные дефекты. Первичные дефекты возникли в процессе роста кристаллов. К ним относятся неоднородность по характеру и степени спектрального светопропускания, по показателю преломления, по степени и характеру окраски, по наличию твердых и газово-жидких включений и т. д. Вторичные дефекты образовались в уже сформировавшихся кристаллах; к ним относятся механические двойники, различные трещины, вторичные твердые и газово-жидкие включения и т. д.

Установлено, что первичные дефекты кристаллов в зависимости от физико-химической обстановки могут изменяться, а некоторые из них полностью или частично устраняться, и тогда кристаллы становятся более однородными. Используя эти положения, удалось разработать ряд способов искусственного устранения некоторых первичных дефектов кристаллов. Приведем некоторые из них.

Существенным дефектом кристаллов исландского шпата является их окраска. Нами было установлено, что желтая и красновато-желтая окраска Восточно-Сибирских месторождений вызвана присутствием в кристаллах определенных битумов. Дальнейшие экспериментальные работы, выполненные во ВНИИПе (Я. П. Снопко) и в ЛГИ, позволили разработать термический и оптический способы обесцвечивания кристаллов. Термический способ заключается в постепенном (на 1° в 2 *мин*) нагревании кристаллов в муфельной печи до температуры 300—350° С, выдержке их при этой температуре в течение 10 *ч* и постепенном охлаждении до нормальной температуры. Этим способом хорошо обесцвечиваются желтые кристаллы, окраска которых обусловлена наличием в кристаллах битума С. Красновато-желтые же кристаллы, окраска которых вызвана наличием битума А, при нагревании до указанной температуры не обесцвечиваются, приобретают бурую, а при более высокой температуре — черную окраску. Оптический способ обесцвечивания, разработанный ВНИИП (Я. П. Снопко), заключается в том, что кристаллы подвергаются облучению ультрафиолетовым светом. Этим способом обесцвечиваются лишь мелкие кристаллы. Крупные же, и особенно те, которые непрозрачны в ультрафиолетовой части спектра, не обесцвечиваются.

Важное значение для установления дефектов кристаллической решетки кальцита и для определения качества кристаллов как оптического материала имеет спектральное светопропускание кристаллов. Установлено, что форма кривой спектрального пропускания в пределах длин волн от 500 до 2600 *нм* одинакова по своему характеру для кристаллов всех типов месторождений. В пределах этой части спектра на фоне высокого светопропускания (80—98%) всегда наблюдается ряд узких полос поглощения света при длинах волн 1380, 1880, 2000, 2150, 2320, 2500 *нм*. Форма этой части кривой светопропускания не подвержена изменениям. Она не изменяется при воздействии на кристаллы температуры (до 400° С) и ультрафиолетового облучения. Отсюда можно сделать вывод, что в пределах указанных длин волн форма кривой светопропускания определяется структурой самого кристалла исландского шпата и не зависит от состава примесей или от локальных нарушений кристаллической решетки. В коротковолновой области спектра (от 200 до 500 *нм*) кривые светопропускания кристаллов исландского шпата характеризуются большим разнообразием. Характер и степень светопропускания в этой области спектра существенно изменяется в кристаллах различных месторождений, разных генераций и отдельных зон роста кристаллов. Так, кристаллы из одних месторождений пропускают до 85% ультрафиолетового света, из других — единицы процента или совершенно непрозрачны в этой части спектра.

Приведенные материалы позволили сделать вывод: в области спектра от 220 до 500 *нм* изменение светопропускания обусловлено локальными нарушениями кристаллической решетки, наличием в кристаллах тех или иных примесей, что, в свою очередь, зависит от геохимической обстановки месторождений и физико-химических условий роста кристаллов. С учетом этого были выполнены эксперименты по термической обработке кристаллов, а также по воздействию на них ультрафиолетовым светом и рентгеновскими лучами. В результате разработаны способы повышения прозрачности кристаллов в ультрафиолетовой части спектра, что значительно улучшает их качество.

Наблюдения над естественными кристаллами позволяют установить, что некоторые дефекты кристаллов, такие, как свили (зоны в кристаллах, отличающихся по показателю преломления), твердые

(глинистые) включения и т. д., располагающиеся в кристаллах первоначально по зонам роста, при изменявшейся физико-химической обстановке перераспределяются; некоторые из них мигрируют в ослабленные части кристаллической решетки и располагаются уже по направлениям спайности, а также по плоскостям возможного механического двойникования кристалла. Известно также, что жидкие включения маточного раствора в кристаллах первоначально имеют каплеобразную форму. Но в дальнейшем вакуоль часто приобретает форму отрицательного кристалла, причем ориентировка его строго совпадает с ориентировкой кристалла-«хозяина». Следовательно, полость, выполненная жидким включением, приобретает наиболее выгодную в энергетическом отношении форму. Все это свидетельствует об определенных изменениях в кристаллах в зависимости от условий их нахождения.

Вторичные дефекты представляют собой нарушения в кристаллах, возникшие при физическом воздействии или вследствие их растворения.

Установлено, что механические двойники в кристаллах исландского шпата возникают по плоскостям $\{10\bar{1}2\}$ из-за смещения молекулярных слоев в направлении $\{0\bar{1}11\}$. При этом группа из трех атомов кислорода поворачивается на угол 52° 30′ вокруг оси, проходящей через центр атома углерода. Как следствие, а также из-за сильного двупреломления кальцита, на грани двойникового слоя появляется большая разность показателей преломления, что вызывает отражение света этого слоя и интерференционную окраску проходящих лучей. Механически сдвойникованные кристаллы становятся непригодными для оптических целей.

Для устранения двойниковых плоскостей следует сместить плоские сетки в направлении $\{01\bar{1}1\}$, т. е. осуществить смещение, обратное тому, которое вызвало появление двойника. С учетом этого обстоятельства нами сконструирован (с участием О. Н. Чашникова) и в механических мастерских ЛГИ изготовлен специальный станок, с помощью которого легко устраняется дефект и кристаллы становятся оптически годными.

Для разработки рациональных методов проходки разведочных и эксплуатационных выработок, а также способов обработки кристаллов, обеспечивающих сохранность оптического материала, очень важно выяснить причины, вызывающие появление различных трещин. Проведенными экспериментальными работами установлено: при постепенном повышении температуры до 700° С никаких видимых нарушений в кристаллах не происходит, за исключением тех случаев, когда в них имеются газово-жидкие, жидкие или твердые включения; кристаллы весьма чувствительны к резкой смене температуры. В жидкой среде (например, в воде) при резком изменении температуры на 24°, а при таком же изменении температуры окружающего воздуха на 31°, в кристаллах появляются преимущественно раковистые трещины, что обусловлено анизотропией объемного теплового расширения кальцита.

В тех случаях, когда кристаллы содержат газово-жидкие или твердые включения, в них происходят нарушения и при постепенном изменении температуры. Газово-жидкие включения при нагревании кристаллов взрываются, кристалл по вакуоли растрескивается после гомогенизации двухфазовых включений. При наличии твердых включений нарушения в кристаллах происходят при различной температуре, в зависимости от разности коэффициента объемного расширения исландского шпата и включенного минерала. В тех случаях, когда включения представлены хлоритами, кварцем, апофиллитом и другими минералами, мало отличающимися от кальцита по коэффициенту объемного расширения, при

постепенном изменении температуры в кристаллах почти не происходит нарушений. Наоборот, если включения в исландском шпате представлены, например, сульфидами, существенно отличающимися по коэффициенту объемного расширения, трещины в кальците появляются при небольших изменениях температуры.

Создание новых способов проходки разведочных и эксплуатационных выработок и технологии обработки кристаллов исландского шпата. До последнего времени месторождения исландского шпата эксплуатируются только открытым способом — карьерами. Запасы исландского шпата, заключенные в месторождениях или в частях месторождений, которые могут быть разработаны только подземным способом, обычно не разведывались, а если и разведывались, то относились к забалансовым. Это объясняется тем, что кристаллы исландского шпата залегают в крепких породах, а большинство главных месторождений располагается в области многолетней мерзлоты. Кристаллы же весьма чувствительны к различным физическим воздействиям. Поэтому проходка разведочных и очистных выработок обычными способами: с помощью взрывных работ, оттайки мерзлых пород воздействием высоких температур и т. п., — приводит к частичному или полному разрушению кристаллов.

Выемка кристаллов при карьерном способе осуществляется с помощью естественной оттайки, а разрушение горных пород ведется отбойными молотками, без применения взрывчатых веществ. Однако все равно не менее 40% кристаллов разрушается. Поэтому в Ленинградском горном институте разрабатывались такие способы проходки горных выработок, при которых кристаллы сохранялись бы. Работы проводились в двух направлениях.

1. Были применены особые способы взрывания горных пород, которые при определенных условиях залегания кристаллов дали положительные результаты (в частности, гладкое взрывание, разработанное А. А. Боровиковым). Однако эти работы нельзя считать завершенными.

2. Разработан и внедрен в производство способ оттаивания мерзлых пород и кристаллов исландского шпата струей движущегося, подогретого воздуха (Ю. Д. Дядькин, Н. А. Чемоданов). В тех случаях, когда кристаллы залегают в рыхлых, но сцементированных льдом породах, этот способ оказался весьма эффективным. Такие месторождения сейчас разведываются и разрабатываются подземным способом.

Важным результатом исследования является новая технология обработки кристаллов. До 1965 г. исландский шпат использовался в промышленности в ничтожных количествах, несмотря на наличие крупных месторождений и острую потребность в высококачественных поляризационных приборах. Объясняется это огромными потерями оптического материала во время добычи и особенно во время обработки кристаллов при раскалывании по спайности. Если спайность упирается в двойниковый шов, отделить дефектные части кристалла расколом по спайности нельзя без значительного разрушения бездефектных частей, поэтому размеры полученных параллелепипедов, ограниченных плоскостями спайности, малы и непригодны для раскроя нормальных и тем более крупных оптических деталей. Горнорудные предприятия поставляли продукцию только в форме параллелепипедов, ограниченных плоскостями совершенной спайности, наименее выгодных для получения из них поляризационных призм. Достаточно указать, что при изготовлении призм Глана-Томпсона, Аренса и подобных им отходы исландского шпата достигают 84% от объема ромбоэдра. В связи с этим оптико-механи-

ческая промышленность к 1965 г. практически ликвидировала производство оптических деталей из исландского шпата.

В настоящее время положение резко изменилось. По новой технологии, основанной на изучении внешней и внутренней морфологии кристаллов и раскроя оптических деталей различных конструкций, грани кристаллов просветляются с помощью химических травителей, тщательно просматриваются, устанавливается внутреннее строение кристаллов и после этого осуществляется их раскрой. Цель его — отделить оптический материал от дефектного. Кристалл распиливают алмазными пилами в направлении, перпендикулярном оптической оси (для получения пинакоидальных пластин), или, в зависимости от пространственного распределения дефектов, по другим нужным направлениям. Этот способ обработки кристаллов позволяет увеличить размерность блоков, придать им форму, выгодную для раскроя оптических деталей, и во много раз повысить общее содержание оптического материала в кристаллах по сравнению с существовавшим ранее способом обработки. Минимальный же поперечный размер естественного кристалла, из которого можно получить поляризационную призму, уменьшается до 30 *мм* вместо 60 *мм* при старом способе обработки. Новая технология успешно внедрена в производство: эффективность разработки месторождений увеличилась в десятки раз, а главное — появилась возможность снабжать оптико-механическую промышленность высококачественным исландским шпатом в нужных количествах. Это, в свою очередь, послужило основанием для разработки новых важнейших оптических приборов и вызвало резкое увеличение спроса на оптический исландский шпат.

Таким образом, выполненные исследования позволили выявить и частично изучить крупнейшую в мире шпатоносную провинцию, раскрыть главные геологические закономерности, определяющие пространственное распределение месторождений, и выделить перспективные территории для нахождения новых промышленных месторождений исландского шпата. Выявлены, разведаны и подготовлены к промышленному освоению крупные, в том числе уникальные месторождения. Изучение кристаллов исландского шпата дало возможность установить их морфологию, внутреннее строение, разработать ряд способов, позволяющих повысить качество исландского шпата (обесцвечивание, увеличение светопропускания в ультрафиолетовой части спектра, исправление механически сдвойникованных кристаллов и др.), создать новую технологию обработки кристаллов и т. д. Все это, в конечном итоге, помогло создать прочную сырьевую базу исландского шпата и резко повысить эффективность разработки месторождений.

Дальнейшие исследования кристаллов исландского шпата и его месторождений должны осуществляться по следующим направлениям.

1. Еще более детальная перспективная оценка шпатоносных территорий; продолжение поисковых и разведочных работ на особенно перспективных площадях и объектах, поскольку потребности в оптическом исландском шпате резко увеличиваются. Для повышения эффективности поисковых работ необходимо в ближайшее время внедрить в производство разработанный нами карбонатометрический метод, а также совершенствовать геофизические методы поисков.

2. Проведение переоценки ранее законсервированных месторождений в связи с внедрением новой технологии обработки кристаллов.

3. Продолжение исследований по уточнению геологических закономерностей, контролирующих пространственное распределение месторождений.

4. Дальнейшая разработка наиболее эффективных способов проходки эксплуатационных и разведочных выработок, обеспечивающих сохранность кристаллов.

5. Изыскание возможности использовать в той или иной степени дефектное сырье: сейчас используется не более 10% прозрачного исландского шпата.

6. Разработка способов залечивания трещин и устранения некоторых других дефектов в кристаллах. Наблюдения над естественными кристаллами позволяют надеяться, что эта задача может быть успешно решена.