

Шатнов Ю. А., Ностелов Н. П.

Хрусталеносные
месторождения России
и стран СНГ

Александров, 2005

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СИНТЕЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
(ФГУП ВНИИСИМС)

Шатнов Ю.А., Костелов Н.П.

ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИИ И СТРАН СНГ



Александров, 2005

ВНИИСИМС
БИБЛИОТЕКА
ИНД. № 10954

УДК 553.875+553.876:553.078

Ю.А. Шатнов, Н.П. Костелов. Хрусталеносные месторождения России и стран СНГ. Александров: ВНИИСИМС, 2005, 242 с.: ил.63, табл. 42. Библиогр. 35 названий.

В монографии обобщены материалы многолетних исследований хрусталеносных месторождений России, Украины, Казахстана, Таджикистана и Грузии. Исследования проводились в основном специализированными организациями системы ВПО «Союзкварцсамоцветы». Всего рассмотрено 26 месторождений, представляющих хрусталеносные кварцевые жилы, камерные пегматиты, скарны, грейзены и россыпные образования. При изложении материалов главное внимание уделялось наиболее важным минерагеническим характеристикам хрусталеносной минерализации (геотектонической позиции объектов, закономерностям размещения месторождений, особенностям хрусталеносной минерализации, практическим выводам о значимости последних). Описание каждого из месторождений дополняется необходимыми иллюстративными материалами.

Работа ориентирована в основном на использование специалистами, занятыми изучением и освоением месторождений пьезооптического и кварцевого сырья, а также коллекционного материала. Выводы об условиях локализации хрусталеносных месторождений могут найти выход в практику ГРП и на другие виды полезных ископаемых, характеризующихся гнездовым распределением сырья.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа является результатом обобщения и переработки материалов, подготовленных авторами по тематике геологического отдела ВНИИСИМС за 1997-99 год в виде отчета с одноименным названием («Хрусталеносные месторождения России и прилегающих стран СНГ»). Необходимость в проведении этой работы обусловилась рядом причин. Определяющим явилось то, что до настоящего времени, несмотря на обширный материал по месторождениям горного хрусталя, сводной работы с характеристиками и продуктивных регионов, и конкретных месторождений России не было подготовлено. Подобные исследования проводились и публиковались (или выходили в свет в виде отчетов и диссертаций) в основном как обобщения по отдельным регионам (Морозенко Н.К., 1948г; Лазыко Е.М., 1957г.; Карякин А.Е., Смирнова В.А., 1964г; Шатнов Ю.А., 1972г.; Ануфриев Ю.Н. и др. 1975г.; Евстропов А.А. и др., 1985г; Оганесян Л.В., Федотов В.К., 1985г; Осипов В.В. и др., 1989г; Евстропов А.А., Бурьян Ю.И., Кухарь Н.С. и др., 1995г.; Оганесян Л.В., 1995г.; Кузнецов С.К., 1998г и др.). К сводным работам могут быть отнесены лишь отдельные монографии и тематические отчеты (Гудков А.С., Киевленко Е.Я., Кондрашов С.Н., 1963г.; Соколов Я.Н., Захарченко А.А., Осинский А.В., 1975г.; Ануфриев Ю.Н., 1985г). Однако эти обобщения учитывали достаточно устаревшие за 25-30 лет материалы и акцентировали внимание главным образом на устоявшихся выводах по регионам и на формационно-генетических характеристиках минерализации.

В то же время освещение с современных позиций целой группы уникальных (по виду сырья) природных объектов представляет несомненную научную ценность. На основе сравнительных обобщений может быть обеспечена надежная основа для постановки работ (в случае необходимости) на природное пьезокварцевое и плавочное сырьё. Выводы об условиях локализации специфических хрусталеносных месторождений могут найти выход в практику ГРП на другие виды полезных ископаемых (в первую очередь – с гнездовым распределением полезного компонента).

При подготовке исходных материалов по настоящей работе и при их изложении главное внимание уделялось данным по наиболее важным минерагеническим характеристикам хрусталеносной минерализации, как-то:

- геотектоническая позиция провинций и районов;
- закономерности размещения узлов, полей и месторождений основных геолого-промышленных типов в условиях района;
- геологические особенности хрусталеносных месторождений;
- условия локализации полезного ископаемого (горного хрусталя);
- практические выводы о значимости месторождений и их геологических перспективах.

В этом же ключе подбирались иллюстрации, отражающие излагаемые представления об условиях залегания и особенностях минерализации месторождений. Текст дополнен также необходимыми таблицами, с исходными данными по геологическим и формационным обобщениям, по технико-экономическим характеристикам месторождений, по качественным особенностям горного хрусталя и др.

Основным источником приводимых в монографии данных послужили отчеты по специализированным исследованиям хрусталеносных районов и месторождений, выполненных главным образом специалистами корпорации «Кварцсамоцветы» и ВНИИСИМС (более 200 работ). По объектам, на которых работы проводились непосредственно авторами книги, нашли отражение именно авторские выводы и обобщения (в частности – по Казахстану, Южному Уралу, Дальнему Востоку, частично – Якутии и др.). В сводных разделах также во многом отражены выводы, к которым пришли

авторы в результате многолетних (более 35 лет) исследований месторождений горного хрусталя.

Излагаемый материал и иллюстрации по обобщающим главам книги и по разделам 4; 6; 7.1; 8; 9 подготовлены в основном Ю.А. Шатновым (заведующий отделом ВНИИСИМС, к.г.-м.н.), по разделам 2; 5; 7.2; 10.3 – Н.П. Костеловым (старший научный сотрудник ВНИИСИМС). Наряду с основными авторами в подготовке монографии принимал непосредственное участие инженерно-технический персонал института.

Подготовка исходных материалов к таблицам и иллюстрациям проводилась Г.С. Власовой. Основной объем работ по оформлению иллюстраций выполнен Э. И. Ануфриевой. Оформление текста осуществлялось Т.Ф. Климовой. Авторы приносят им свою искреннюю благодарность. Глубокую признательность мы выражаем также В.К. Федотову, главному специалисту корпорации «Кварцсамоцветы», выполнившему результативное изучение исходного варианта книги при его рецензировании и внесшего ряд ценных предложений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНОМ ХРУСТАЛЕ КАК ПОЛЕЗНОМ ИСКОПАЕМОМ

Минералогическое определение термина «горный хрусталь» соответствует издревле установившемуся представлению о бесцветных, водяно-прозрачных, бездефектных монокристаллах природного кварца, как правило – удлиненной призматической формы, с идеально развитыми кристаллографическими гранями. Само название «кристалл» изначально восходит к греческому звучанию определений «лед», «горный хрусталь». Сложившееся в производственной геологической практике понятие о горном хрустале несколько более сложное [35]. Термин «горный хрусталь» в применении к полезному ископаемому соответствует обобщенному понятию о кристаллах природного кварца, вне зависимости от формы, внутреннего строения, чистоты и окраски. Таким образом, горный хрусталь как полезное ископаемое может быть представлен и бесцветными прозрачными кристаллами (собственно «горный хрусталь»), и дымчатыми разностями («раухтопаз»), и зеленовато-желтыми индивидами («цитрин»), и смоляно-черными формами («морион»). Не охватываются этим понятием другие цветовые разновидности кристаллов кварца, используемые в основном как ювелирное и коллекционное сырьё (фиолетовый аметист, зеленый празеолит, синий перунит и др.).

1.1. Основные свойства кристаллов кварца

Горный хрусталь представлен кристаллами низкотемпературной модификации кварца (β -кварца), относящимися к тригональной сингонии; вид симметрии – тригонально-трапецоэдрический [D_3 — $32(L_3 \ 3L_2)$]. Они образованы главным образом сочетанием граней гексагональной призмы ($10\bar{1}0$), большого и малого ромбоэдров ($10\bar{1}0$ и $01\bar{1}1$), дополняемых слабо развитыми гранями тригональной бипирамиды ($11\bar{2}1$) и тригонального трапецоэдра ($51\bar{6}1$). В зависимости от степени развития основных граней кристаллы имеют столбчатый, обелисковидный, скипетровидный или уплощенный облик. Габитус кристаллов – призматический или остроромбоэдрический, с псевдогексагональным или тригональным поперечным сечением. Соотношение размеров кристаллов по кристаллографическим осям (L_3 и L_2) определяет длиннопризматическую (соотношение $>3:1$), средне или просто призматическую (соотношение $3:1 - 3:2$) и короткопризматическую (соотношение менее $3:2$) их форму. Внутреннее строение кристаллов, характеризующееся отсутствием плоскости и центра симметрии, обуславливает наличие двух энантиоморфных форм – левых и правых кристаллов, проявляющихся в различии их оптических свойств и ориентировке гемиздрических граней.

Грани природных кристаллов горного хрусталя, как правило, имеют ясно выраженную скульптуру, определяемую фигурами роста (вицинальные пирамиды, бугры, ступени), границами мозаичных блоков, двойниковыми швами, индукционными гранями. На гранях призмы обычна явно выраженная штриховка или ступенчатость. Для бездефектных монокристаллов гидротермального генезиса характерны тригональный габитус, наличие гемиздрических граней бипирамиды и трапецоэдра, длиннопризматический и обелисковидный облик, асимметричное строение головки (по А.Е. Карякину). Короткостолбчатые псевдогексагональные кристаллы часто изобилуют внутренними дефектами. Для пегматитовых месторождений менее дефектны короткостолбчатые индивиды. Монокристаллы горного хрусталя встречаются в природных условиях сравнительно редко, обычно они sdвойникованы по тому или иному закону. Наиболее характерны дофинеийские и бразильские двойники, реже проявлены сра-

стания по третьему закону и японские двойники. Максимальные установленные размеры кристаллов – до 2,7 м по длинной оси и весом до 10 т (с Вольнского месторождения, по Е.К. Лазаренко, 1971г.).

Кристаллы природного кварца обычно насыщены твердыми и газовой-жидкими включениями (ГЖВ). Твердые включения представлены серицитом, хлоритом, турмалином, рутилом, брукитом, анкеритом, гематитом, гётитом, пиритом и др. Газово-жидкие включения в основном двухфазные (жидкость + газ). Степень их заполнения – чаще 0,4-0,6 ед., температура гомогенизации – 90-315⁰С. Пики декрепитации включений отмечаются в интервале 150-320⁰С. Состав ГЖВ различен. Наиболее характерные компоненты – *Na*, *K*, *Ca*, *Cl*⁻, *HCO*₃⁻ (в жидкой фазе), *CO*₂, *NH*₃, *SO*₃, *F* (в газовой составляющей); рН растворов – 7,0-7,8 (слабощелочные растворы), давление внутри вакуолей 90-150 МПа. В многофазовых включениях присутствует твердая фаза в виде микрокристаллов галита, сильвина, рутила и др. ГЖВ проявлены в виде густо насыщенных скоплений, замутненных участков, своеобразных «вуалей» (по «залеченным» трещинам).

Из элементов физической неоднородности кристаллов горного хрусталя характерны также мозаичность, зональность и секториальность. Мозаичность (свилеватость) отражает внутреннюю неоднородность индивидов, обусловленную развитием в их объеме многочисленных мелких блоков, различно ориентированных относительно кристаллографических осей. Для отдельных кристаллов наряду с мозаичностью отмечается их скрученность, с закономерно изменяющейся ориентировкой граней и оптических осей от основания к вершине кристалла. Зональность фиксируется распределением окраски, минеральных включений, двойников или мозаичности по теневым граням роста, с формированием своеобразных «фантомов» внутри кристалла. Секториальность отражает неравномерность развития кристаллов по пирамидам роста различных граней, фиксирующуюся чаще всего также по распределению окраски.

Химический состав идеальных кристаллов горного хрусталя – *SiO*₂(*Si*-46,7%; *O*-53,3%). Однако даже наиболее чистые разности содержат химические примеси в количестве от 0,005 до 0,01%. Основные из них *Al*, *Fe*, *Ca*, *Mg*, *Ti*, *Na*, *K*, *Li*, иногда *Mn*. Особенно насыщены элементами-примесями кристаллы пегматитовых месторождений (морион), а также замутненные кристаллы всех разновидностей других генетических типов.

Физические свойства горного хрусталя достаточно характерны, а их сочетание уникально:

- высокая прозрачность в видимой, ультрафиолетовой и, в меньшей мере, инфракрасной областях спектра;
- высокая механическая прочность, твердость (7 ед., по шкале Мооса) и упругость;
- повышенная теплопроводность и теплоемкость, обуславливающие его устойчивость при резких температурных перепадах;
- высокая температура плавления (1713⁰С)*;
- низкая растворимость в агрессивных средах (слабая в щелочных растворах, повышенная лишь в растворе HF);
- сравнительно низкие удельная магнитная восприимчивость ($-0,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$) и диэлектрическая проницаемость (4,4-6,0 ед.);
- люминесцентность в рентгеновских лучах (длина волны 390-410 нм) и термолюминесцентность (после γ -облучения);
- плотность – 2,65 г/см³;

* – по разным источникам – от 1713⁰ до 1728⁰С.

– блеск стеклянный, излом – раковистый, спайность – отсутствует (или весьма несовершенная по большому ромбоэдру), хрупкость – высокая;

– способность изменения окраски под действием γ -облучения и высоких температур (в том числе обесцвечивание при нагреве и при длительном солнечном освещении).

Наряду с перечисленными свойствами весьма специфичными характеристиками кристаллов горного хрусталя является его способность к пьезоэффекту и к поляризации проходящего света. Пьезоэффект проявляется в образовании электрического заряда на пластине, вырезанной из монокристаллов кварца, при механическом сжатии её в направлении осей второго порядка. Величина возникающего заряда прямо пропорциональна сжимающему (растягивающему) усилию. Обратный эффект (возникновение механических колебаний) наблюдается при воздействии на пластинку электрического тока. В связи с проявлением энантиоморфизма, при поляризации света происходит их дифференциация по оптическим свойствам – левые кристаллы смещают проходящий луч влево, правые кристаллы – соответственно вправо. Разобранные характеристики относятся, по сути, к идеальным монокристаллам горного хрусталя. Различные нарушения этой «идеальности» отражаются на проявлении тех или иных его свойств. Тем не менее, практически все разновидности кристаллов находят свои области применения и являются ценным горнорудным сырьём.

1.2. Области применения горного хрусталя

Области применения кристаллов горного хрусталя и изделий из него целиком определяются уровнем кристаллографической и минералогической идеальности его индивидов, а также их размерами и формами нахождения в природных образованиях. Наибольшую ценность представляют идеальные монокристаллы кварца (или их фрагменты), пригодные для получения пьезоэлектрических и оптических изделий. На использовании пьезоэлектрических свойств кристаллов кварца основано действие целого ряда приборов и устройств электро-и радиотехники, акустоэлектроники, ультразвуковой техники. Пьезокварц широко применяется в качестве стабилизатора частот электромагнитных колебаний, в аппаратуре многоканальной телефонной связи, в приборах для измерения давлений и т.д. Наиболее широкое поле его использования – пьезокварцевые резонаторы. Благодаря высокой упругости кварцевая пластина как пьезоэлемент прямого и обратного действия представляет собой совершенную электромеханическую систему с уникально высоким КПД. При размерах, исчисляемых в мм и см, собственные частоты колебаний пластин лежат в диапазоне от тысяч до миллионов колебаний в секунду. Именно эти частоты наиболее оптимальны для радиотехники. При этом высокая химическая и термическая устойчивость кварца обеспечивает исключительное постоянство работы пластин в качестве резонаторов. Отдельные разновидности кристаллов характеризуются повышенной устойчивостью и к таким интенсивным воздействиям, как радиация, термоциклирование, переменные механические нагрузки. Это обеспечивает возможность использования пьезокварцевых элементов в самом широком диапазоне рабочей среды.

Конкретные направления использования пьезокварцевых пластин – высокочастотные резонаторы для подвижной радиосвязи, кварцевые фильтры радиоаппаратуры, радарные и радиопередающие устройства, телекоммуникационная аппаратура, генераторы – термостаты, линии задержки радиоимпульсов и т.д. На основе сверхчистых пьезоэлементов разработаны новые поколения прецизионной пьезотехники, работающие в наногерцевом диапазоне частот. Кварцевые элементы применяют в технике опорной генерации, в эталонах времени, в объемных резонаторах. Всё более широко

пьезокварц используется в бытовой технике (кварцевые часы, переговорные устройства и др.).

Обычное применение пьезокварцевые пластины имеют в качестве излучателей ультразвуковых волн, возникающих в системе сжатие-растяжение при воздействии на пьезоэлементы высокочастотного электрического напряжения. В электроакустических приборах используются способности пьезопластин работать в варианте изгиба-кручения с получением необходимого акустического эффекта (акустические датчики в гидролокаторах, пеленгаторах и др.).

Использование кристаллов кварца (горного хрустала) в оптике основывается на высокой прозрачности бесцветных его разновидностей, в особенности в ультрафиолетовой области спектра, и способности к поляризации проходящего света. Из кварца изготавливают оптические линзы различного назначения, поляриметры, призмы для спектрографов, окошки для ультрафиолетовой оптики и др.

Недостатки природного пьезооптического сырья, по сравнению с синтетическими монокристаллами:

- нестандартность размеров и форм, усложняющая их автоматизированную разделку;
- значительно более высокая цена;
- сложность внедрения объективных (технических) методов контроля качества сырья;
- невозможность дифференциации природных кристаллов даже одного месторождения по техническим характеристикам;
- отсутствие среди природных кристаллов сырья определенных типов (например — радиационно-устойчивых кристаллов).

Это обусловило постоянное сокращение объемов потребляемого природного пьезосырья (на конец 90-х годов — не более 2% общего производства) и замена его синтетическими монокристаллами.

Другая, не менее важная, сфера использования природного горного хрустала — получение монокомпонентного кварцевого стекла повышенной чистоты. Проходя ряд модификационных превращений или сохраняя свою структуру, при температуре 1713-1728⁰С горный хрусталь расплавляется, с образованием прозрачного стекла. Это так называемое монокомпонентное кварцевое стекло наследует ряд технически важных характеристик кристаллического кварца. Оно высокопрозрачно (в том числе в ультрафиолетовой и инфракрасной частях спектра, идеально радиопрозрачно), почти так же термостойко и теплоёмко, механически прочно, обладает повышенной химической стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами, оптической и акустической однородностью.

С учётом перечисленных свойств получаемое из горного хрустала прозрачное кварцевое стекло является незаменимым материалом для оснащения искусственных спутников и космических кораблей, для изготовления деталей управляемых снарядов. Оно используется для производства приборов ночного видения, получения особо жаростойких диэлектриков, а также блоков лазерных гироскопов. Кварцевое стекло повышенной химической чистоты идёт на изготовление труб и тиглей для выращивания монокристаллов кремния и других полупроводниковых материалов, применяется в волоконной оптике, при производстве ламп накаливания и излучателей в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне спектра и др. Из оптического кварцевого стекла изготавливаются тепловые панели иллюминаторов сверхзвуковых летательных аппаратов.

До конца 70-х годов горный хрусталь являлся основным сырьём для получения наиболее высококачественного кварцевого стекла. Однако из-за его ограниченных запасов, относительной дороговизны добычи и обычно более высокого содержания

химических примесей, горный хрусталь всё в большей мере заменялся кварцевыми концентратами из жильного гранулированного и рекристаллизованного кварца. В настоящее время природные кристаллы кварца в качестве плавочного сырья почти не используются.

Определенная часть добываемого природного горного хрусталя всех цветовых разностей использовалась и используется в качестве ювелирного и коллекционного сырья. Особенно ценным ювелирным (ограночным) материалом является цитрин, морион, саухтопаз, а также кварц с включениями игольчатого рутила («волосатик») и гематита; в меньшей мере используется непосредственно горный хрусталь. Коллекционное сырьё повышенной ценности представляют собой друзы и сростки кристаллов кварца всех типов, идиоморфные образцы высокой сохранности, своеобразные морфологические разновидности (типа «винтовых» или «скрученных» кристаллов), а также сростки их с другими минералами.

1.3. Природные и технологические типы горного хрусталя

Горный хрусталь как полезное ископаемое, вне зависимости от направлений его использования, относится к видам минерального сырья, не требующего глубокой переработки. Исходное сырьё – природные монокристаллы, сростки или их производные (обломки, гальки) – проходит лишь механическую обработку (удаление минеральных примесей, примазок, включений и т.д.). Применяемые пьезокварцевые и оптические заготовки – пластины, линзы, призмы и т.п. – получают из кристаллов также механическим путём. Основные потребительские параметры кварца определяются качеством используемых кристаллов, в связи с чем действующие отраслевые стандарты относятся к исходному сырью, прошедшему лишь рудоразборку и предварительное (механическое) обогащение.

В зависимости от назначения кристаллов, добываемых на том или ином месторождении, определяемого в первую очередь их минералогической и физической однородностью, выделяется пьезо-и оптический кварц, горный хрусталь для плавки и гранки, а также коллекционный материал [35].

Пьезооптический кварц, представляемый наиболее чистыми монокристаллами, классифицируется по разновидностям и сортам в зависимости от величины бездефектной области (монообласти или моноблока), её выхода и наличия допустимых дефектов. Под монообластью понимается часть кристалла, свободная от всякого рода дефектов; выход монообласти – её процентное содержание в объеме обогащенного кристалла. Минимальные размеры монообласти пьезокварца должны обеспечивать получение как минимум одной заготовки пьезокварцевой пластины размером 12х12х1,5 мм. Масса кристалла (а также его обломка, гальки) должна быть не менее 100 г; более мелкие кристаллы («маломерка») поставляются лишь по согласованию с потребителем. Масса монообласти при определении сортности устанавливается по показателям наиболее типичной из них и не является суммарной величиной от сложения нескольких блоков.

Дефектами пьезокварца являются твердые и газово-жидкие включения, видимые вооруженным глазом, трещины, свили, двойники. Дефекты оптического кварца – включения более 0,1 мм (свыше одного на 1 см³), трещины, свили, окрашенность, голубые темные нити («лучи»), бразильские двойники. В качестве оптического кварца не используются обесцвеченные кристаллы, оптические свойства которых резко ухудшаются в сравнении с бесцветными разностями. Лучшими пьезоэлектрическими свойствами обладают обычно химически чистые кристаллы. Индивидуумы с повышенными содержаниями ЭП (в частности – щелочей) могут улучшить эти характеристики после

длительного воздействия постоянного электрического поля (электроочистки). В большинстве своем пьезооптические кристаллы поражены микродефектами (микродислокации, каналы травления), развивающимися в количествах десятков – сотен единиц на 1 см^2 . Однако монокристаллы отдельных месторождений относятся к малодислокационным или практически бездефектным разностям (единичные дефекты), и могут использоваться при изготовлении прецизионных пьезопрепаратов. Требования к пьезооптическому кварцевому сырью регламентированы соответствующими стандартами (ОСТ 41-07-74-84, ТУ 41-07-049-89).

Горный хрусталь для плавки может быть представлен кристаллами кварца различных цветовых разностей, обломками кристаллов, в том числе отходами от обогащения пьезосырья. В отличие от пьезокварца, в плавочное сырье включаются как монокристаллические индивиды, так и сдвойникованные формы, в том числе частично поражённые трещинами, свилями, газово-жидкими включениями. Вместе с тем, значительно более строго регламентируются такие параметры, как наличие минеральных включений (не допускаются!), насыщенность химическими примесями, фракционирование поставляемого продукта (обогащенный обломочный материал размерами 10-60 мм). Насыщенность ГЖВ и химическими примесями определяет сортность плавочного сырья. Для I сорта – объём замутненной части куска – до 20%, для II сорта – до 50%, для III сорта – до 70%. Содержание основных ЭП для I сорта: Fe – $5 \cdot 10^{-4}\%$, Al – $2 \cdot 10^{-3}\%$, щелочи $1 \cdot 10^{-3}\%$; для II сорта – $1 \cdot 10^{-3}\%$, $4 \cdot 10^{-3}\%$, $2 \cdot 10^{-3}\%$ и для III сорта – $1 \cdot 10^{-3}\%$, $8 \cdot 10^{-3}\%$, $5 \cdot 10^{-3}\%$ соответственно. Отклонения в содержании ЭП допускаются только по согласованию с потребляющей организацией.

Прямого регламентирования окраски для плавочного горного хрусталя не проводится. Однако, как правило, морион (из пегматитов) и раухтопаз характеризуются повышенными содержаниями Al и щелочей, что резко снижает их потребительскую ценность. Вследствие этого последние годы (с конца 80-х) морион для плавки вообще не используется, а раухтопаз отдельных месторождений находит ограниченный спрос. Основные требования к плавочному горному хрусталю регламентируются отраслевыми стандартами (ОСТ 41-07-152-86. Хрусталь горный природный в сырье, технические условия; ТУ 5726-002-11496665-97. Кварцевые концентраты из природного кварцевого сырья для плавки кварцевых стекол).

Из природных разностей горного хрусталя, используемого в качестве ограночного сырья, наиболее ценным является цитрин и, в меньшей степени, морион и раухтопаз. Собственно горный хрусталь (бесцветные кристаллы) существенным спросом не пользуется. Основные требования к ограночному кварцу – чистота (отсутствие трещин, включений и замутнённых участков), размеры кристаллов или их обломков, густота окраски. Эти параметры определяют сортность и в конечном счете – стоимость сырья. В частности, по этим показателям (ОСТ 41-07-74) выделяется 5 групп огранки цитрина (масса получаемых заготовок от 0,6 г до 3,6 г и более). Кварц дымчатый, морион, горный хрусталь определяются как ограночное сырьё наличием бездефектной области размерами более $15 \times 15 \times 12\text{ мм}$ (ОСТ 41-128-77). Коллекционные образцы горного хрусталя могут быть представлены отдельными кристаллами или их сростками (друзами). В соответствии с ОСТ 41-01-143-79 отдельные кристаллы разной окраски должны иметь определенные размеры (не менее 50 мм) и возможно большую степень сохранности; допускаются примазки и присыпки сопровождающих минералов. Коллекционные друзы не должны быть менее $0,15\text{ дм}^2$ по площади и иметь минимум механических повреждений (не более 10% для I сорта, 30% для III сорта), включать преимущественно прозрачные и полупрозрачные индивиды. Ценность коллекционного сырья определяется в первую очередь их общей эстетической значимостью, что трудно поддается регламентированию.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Сегодня в качестве эксплуатируемых могут рассматриваться лишь отдельные комплексные месторождения и горного хрусталя, и прозрачного жильного кварца (Желанное, Додо). На большей части других месторождений проводится спорадическая (а подчас и хищническая) добыча коллекционного материала.

В то же время подготовленная ранее сырьевая база горного хрусталя достаточно существенна, и в отношении пьезо-и оптического кварца в течение длительного периода практически полностью обеспечивала потребности отечественной промышленности. Главными источниками сырья служили месторождения Южного Урала (Ю.Урала), Приполярного Урала (П.Урала), Волыни, Южной Якутии (Ю.Якутии), Памира и Центрального Казахстана (Ц.Казахстана). Плавочный горный хрусталь добывался на месторождениях Урала, Южной Якутии и Ц.Казахстана.

По своим масштабам и качеству сырья месторождения бывшего СССР значительно уступают объектам мирового значения, известным в Бразилии, но стоят на одном уровне (или несколько выше) с месторождениями других хрусталедобывающих стран (Мадагаскар, Китай, частично Монголия и США). Их обобщенное рассмотрение, предлагаемое в настоящей работе, представляет несомненный научный интерес.

2.1. Формационная классификация хрусталеносных месторождений

Хрусталеносные месторождения связаны с природными геологическими образованиями нескольких генетических типов (пегматитами, скарнами, гидротермальными жилами и др.). В зависимости от типа месторождения кристаллы горного хрусталя могут различаться по степени идиоморфизма, кристалломорфологическим особенностям, уровню химической чистоты и однородности внутреннего строения. Тем не менее для месторождений всех типов характерна группа признаков, определяющих эти объекты в качестве потенциальных источников промышленно ценных кристаллов кварца, а именно:

- значительные масштабы хрусталеносной минерализации, с концентрацией полезного ископаемого как минимум в тонны – десятки тонн кристаллосырья;
- высокий уровень идиоморфизма и однородности внутреннего строения кристаллов, позволяющий извлекать из них бездефектные участки (монообласти) для производства пьезоизделий или однородный по составу кварцевый материал для плавки прозрачного кварцевого стекла;
- наличие кристаллов значительных размеров – как правило, массой не менее сотен граммов (обычно – килограммы и десятки килограммов);
- условия нахождения кристаллов должны обеспечивать не только их свободный рост, но и последующую механическую и минералогическую (химическую) сохранность.

Вне зависимости от генезиса месторождений эти условия реализуются при наличии естественных полостей-кристаллизаторов – хрусталеносных камер, погребов, гнезд, занорышей. Подобные полости формируются и сохраняются в последующем далеко не во всех типах эндогенных образований. Выделяются достаточно специфичные группы хрусталесодержащих объектов, определяющиеся как промышленно-генетические типы (по Е.Я. Киевленко), генетические типы и формации (по Е.П. Мельникову), геолого-промышленные типы месторождений (по В.П. Дроздову). К настоящему времени разработано несколько классификационных схем хрусталеносных (или в более широком понимании – кварценосных) объектов [8, 10, 19, 22, 35 и др.].

Наиболее детальными представляются геолого-генетическая классификационная схема Е.П. Мельникова (1988г.) и формационная классификация ВНИИСИМСа (В.В.

Менчинский, А.Г. Малышев, Э.М. Ташкер и др., 1980), положенные в основу предлагаемой нами классификационной схемы (табл.2.1.). Рубрикация схемы заимствована из классификации В.В. Менчинского и др., составленной на принципах В.И. Смирнова (1964г.), с выделением генетических групп (серий), генетических классов, рудных формаций и структурно-формационных типов. Конкретный перечень и наименование формаций и их групп определен в основном по схеме Е.П. Мельникова. Основное направление детализационных построений, выполненных авторами настоящей работы – выделение структурно-формационных типов хрусталеносных образований. Варианты подобной детализации выполнялись ранее (В.В. Менчинский и др., 1980г.; В.П. Дроздов, Ю.А. Шатнов, 1985г.; Ю.А. Шатнов, 1998г.), однако в наиболее завершенном виде она представлена в настоящей работе.

Предлагаемая схема сохраняет основные принципы классификации кварценосных месторождений, разработанные Е.П. Мельниковым, и отражает:

"... а) генетическую принадлежность, геологические и термодинамические условия формирования полезного ископаемого;

б) вещественный состав продуктивных тел;

в) формации ... и минеральные типы (хрусталеносных – Ю.Ш.) образований;

г) естественную последовательность образования выделенных формаций..."

В то же время она обеспечивает необходимый для практических выводов уровень детальности классификационных построений.

Исходя из перечисленных классификационных признаков, хрусталеносные объекты относятся к двум генетическим группам (сериям) – к эндогенным и экзогенным образованиям. В эндогенной группе выделяются – пегматитовый, пневматолит-гидротермальный и метаморфогенно-гидротермальный классы формаций. В экзогенной группе может быть выделен один класс – образования механического накопления (хрусталеносные россыпи). Классы в свою очередь подразделяются на рудные формации. При этом под рудной формацией, а применительно к горному хрусталу – хрусталеносной формацией, понимается "... группа месторождений с минеральными ассоциациями сходного состава, повторяющимися в определенной последовательности и образовавшимися в близких геологических условиях" [19].

Пегматитовый класс представлен месторождениями одной формации – хрусталеносными камерными пегматитами (по схемам Н.П. Ермакова, 1957г. и Е.Я. Киевленко, 1963г.). По минерализационным особенностям и условиям локализации среди них выделяются объекты двух структурно-формационных типов – волынского и казахстанского. Первые, связанные с зонами активизации древних щитов, характеризуются доминирующим морион-топаз-берилловым типом минерализации. Вторые, приуроченные к областям завершенной полициклической складчатости, относятся к морион-флюоритовому типу минерализации.

Класс пневматолит-гидротермальных хрусталеносных образований включает объекты, связанные со скарнами, грейзенами и редкометально-кварцевыми гидротермальными жилами. В связи со скарнами образуются специфичные хрусталепроявления, объединяемые в кварцево-апоскарновую формацию (по Е.П. Мельникову). В классификации этого же автора хрусталесодержащие грейзены и W-Mo-Sn-кварцевые жилы объединяются в одну кварцево-апогрейзеновую формацию. Конкретные работы по изучению хрусталепроявлений (Э.Я. Гекман, И.А. Куряев, 1984-85 гг., Ю.А. Шатнов, И.В. Коваленко, 1986-88 гг.) показали существенные различия и в условиях локализации этих объектов, и в характеристиках кристаллосырья, и в особенностях развития продуктивной минерализации (см. разделы 4.2., 4.3.). В этой связи целесообразно сохранение за подобными образованиями обычной для рудоносных объек-

тов формационной градации с выделением хрусталеносных кварц-мусковитовых грейзенов (калмык-кырганский тип) и редкометалльно-кварцевых жил (олгинский тип).

Формация хрусталеносных кварцевых жил (или "безрудные хрусталеносные кварцевые тела" по Е.Я. Киевленко) представляет класс метаморфогенно-гидротермальных образований. Выделение данного класса обусловливается спецификой образования этих жил — за счет флюидопотоков метаморфогенного происхождения [9]. Рассматриваемая формация представлена в границах России наибольшим количеством районов и месторождений, в том числе наиболее важных в отношении пьезооптического и плавочного кварцевого сырья. Уровень изученности объектов этого типа обеспечивает их более детальную дифференциацию, исходя из условий залегания и характера минерализации. В целом среди хрусталеносных образований формации на территории России и прилежащих стран выделяется 5 структурно-формационных типов месторождений. В соответствии с наименованием типовых объектов или районов их развития определяются якутский, актасский, неройский, астафьевский и верхоанский типы. По сути они отражают наиболее характерные особенности хрусталеносных кварцевых жил конкретных районов и близки к понятию "конкретной рудной формации" Р.М. Константинова (1972г). Главные их отличительные признаки достаточно устойчивы для основных промышленных месторождений (табл. 2.1.). В частности, для якутского типа характерны штокверкообразные зоны разных форм и размеров, локализованные в кварцитах, наложенные хрусталеносные полости (в том числе внежильные), слабое развитие жильного кварца. Актасский тип представлен протяженными мощными жилами, залегающими в разнотипных породах, с исключительно многополостным внутрижильным характером хрусталеносности. Неройский тип характеризуется преобладанием рассредоточенных жил в зонах линейных дислокаций, в разнотипных вмещающих толщах, с интенсивным развитием прозрачного окологнездового кварца. Для астафьевского типа обычны сложные штокверкообразные зоны и осложненные жилы в гетерогенных толщах метавулканитов-плагиоклазитов, с мощными ореолами низкотемпературных гидротермальных изменений (на уровне зональности месторождения), с наиболее высококачественным пьезосырьем. Верхоанский тип представлен жилами или сериями жил простой формы в блокированных пластах песчаников осадочных толщ, с мелкими внутрижильными полостями, с малоразмерными кристаллами невысокого качества.

Внутри каждого структурно-формационного типа могут быть выделены дополнительные группы (подтипы) хрусталеносных образований. Они характеризуются своими морфологическими и минерализационными особенностями, определяемыми в первую очередь сочетанием локальных структурных и литологических условий залегания (см. описание месторождений). Однако введение дополнительных градаций целесообразно лишь при рассмотрении конкретных рудных формаций провинций или районов, как это было выполнено по большинству территорий (Ю.Н. Ануфриевым по Ю. Уралу; Л.В. Оганесяном и В.К. Федотовым по Ю. Якутии; Ю.А. Шатновым по Улутаускому району; С.С. Цюцким по П. Уралу и др.).

Из хрусталеносных объектов экзогенной группы известны элювиально-делювиальные, делювиально-аллювиальные и пролювиально-аллювиальные россыпи. Первые два типа россыпей образуются, как правило, за счёт разрушения высокопродуктивных месторождений астафьевского и волинского типа и самостоятельного значения не имеют. В то же время пролювиально-аллювиальные россыпи (в том числе промышленные) могут формироваться за счёт эрозии слабо хрусталеносных коренных источников, с концентрацией сырья до уровня крупных экономически важных месторождений. В связи с этим как самостоятельный тип экзоген-

ных образований рассматриваются лишь данные объекты (пролювиально-аллювиальные или ложковые россыпи), с генотипом в виде Светлинского месторождения.

Главные признаки хрусталеносных образований различной формационной принадлежности отражены в приводимой классификационной таблице (табл.2.1.). Подробные характеристики объектов рассматриваются на примере типовых месторождений в основном тексте настоящей работы.

2.2. Районирование хрусталеносных территорий

Изучение территории России и прилегающих стран (ранее – СССР) в направлении выделения хрусталеносных регионов было в целом завершено к концу 50-х годов. Именно к этому периоду относится составление по сути первой карты размещения хрусталеносной минерализации СССР, приближенной к современным картографическим построениям (Я.Н. Соколов, 1959г.). Однако, по ряду причин (в том числе – не всегда обоснованной "закрытости" материалов по пьезооптическому сырью) полноценные сводные разработки по районированию хрусталеносных территорий появились только в 70-е годы. К ним, в частности, относится сводная карта хрусталеносности СССР (как основа прогнозных построений), составленная сотрудниками ВСЕГЕИ в 1975г. (авторы Я.Н. Соколов, А.В. Осинский, А.Н. Захарченко). Более поздние сводные карты и схемы составлялись, как правило, с учётом этой основы (Ю.Н. Ануфриев, 1978г.; В.В. Менчинский и др., 1980г.; Е.П. Мельников и др., 1992г., Ю.А. Шатнов, 1996г.). Хотя дополнения к ней, в связи с получением новых материалов и использованием данных по комплексу кварцевого сырья (а не только по горному хрусталу), разработкой новых подходов к оконтуриванию площадей были достаточно существенными. Картографическую базу для районирования, наиболее отвечающую современному состоянию МСБ горного хрусталя России, составляет "Карта перспективности территории СССР на жильный кварц для плавки", составленная группой ВНИИСИМС в 1980г. под руководством В.В. Менчинского. В соответствии с общими принципами построения этой карты проводится районирование хрусталеносных объектов России и прилежащих стран и в настоящей работе.

Выделение хрусталеносных площадей осуществляется в основном по таксономической схеме, разработанной Ю.Н. Ануфриевым и В.П. Дроздовым (1973г.) и не потерявшей своей актуальности до настоящего времени. Основными минерагеническими объектами регионального уровня, отражаемыми на мелкомасштабных картах, являются хрусталеносная провинция и хрусталеносный район, среднемасштабного уровня – хрусталеносный узел (или зона) и хрусталеносное поле.

На приводимой сводной схеме размещения хрусталеносной минерализации России и стран СНГ (рис. 1.) отражены соответствующие провинции и основные районы (в том числе все объекты, рассматриваемые в настоящей работе). При этом (по Я.Н. Соколову и А.В. Осинскому, 1975г.) "под хрусталеносной провинцией понимается часть складчатой области или платформы, для которой хрусталеносная минерализация является типичной, широко развитой и обычно выраженной жильными образованиями различных формационных типов...". Дополнительно (по Н.Б. Ильину, 1974г.) учитывается связь минерализации с определенными эпохами тектогенеза. "Хрусталеносный район представляет собой крупную площадь развития преимущественно однотипных хрусталеносных образований...". Хрусталеносный район или входит в провинцию, или может быть автономной структурно-минерагенической единицей в пределах складчатой системы.

При этом площади провинций составляют, как правило, сотни тысяч км², районов – десятки тысяч км² (по Н.П. Романовскому, 1979г.).

Таблица 2.1.

Формационная классификация хрусталеносных месторождений России и стран СНГ

Генетический класс	Хрусталеносная (хрустале-содержащая) формация	Структурно-формационный тип	Геодинамические условия формирования	Возраст минерализации	Хрусталеносная минерализация			Сопровождающая минерализация		Хрусталеносные регионы и месторождения (проявления)	
					Основное сырье	Качество сырья	Масштабы проявления*	Тип сырья*	Направление использования	Типовые (главные)	Второстепенные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пегматитовый	Камерные гранитные пегматиты	Золынский	ТМА древних щитов	PR ₂	Пьезокварц, огранка мориона	Высокое	Крупные	Топаз, берилл	Ювелирное сырье	Коростенский район (Волынское месторождение)	Корсунь-Новомиргородский район
		Казахстанский	ТМА полициклических складчатых систем	PZ	Пьезокварц, огранка мориона	Среднее	Мелкие	Флюорит	Плавочное сырье	Ц. Казахстан (Кент, Н.-Романовское)	Алтай (Саввушки), В.Саян (Самсал), Хабаровский край (Хакчан, Бекчи-Ул)
Пневматолит-гидротермальный	Апоскарновые кварцевые жилы	Кет-Капский	ТМА складчатых систем полициклического развития	MZ, PZ	Пьезокварц	Среднее	Мелкие	-	-	Гонамо-Учурский район (Дальнее, Кет-Кап)	Омолонский район (Скарновое, Ольдяни); Чаткальский район
	Кварц-мусковитовые грейзены	Калмык-Кырганский	ТМА полициклических складчатых систем	PZ-MZ	Горный хрусталь для плавки	Низкое	Мелкие	-	-	Ц. Казахстан (Калмык-Кырган)	Буреинский район (Цирковое, Грейзен)
	Редкометальные кварцеворудные жилы	Олгинский	Складчатые системы полициклического развития	MZ	Пьезокварц	Среднее	Мелкие	Mo, Sn, W	Рудное сырье	Буреинский район (Олгинское, Самыр)	Магаданская обл. (Иультин, Грядинское); о. Врангеля (Перкаткун)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Метаморфогенно-гидротермальный	Хрусталоносные кварцевые жилы	Якутский	ТМА древних щитов	PR ₂	Пьезооптический кварц; горный хрусталь для плавки;	Высокое Низкое	Крупные	-	-	Верхне-Алданский район (Перекатное, Холодное)	В.-Тимптонский район (М.Нихот, Лукинда); Амгинский узел (Онхой)
		Актасский	ТМА срединных массивов – субплатформ	PZ ₃	Пьезокварц; горный хрусталь для плавки	Среднее Низкое	Средние Средне-крупные	Жильный кварц непрозрачный	Оптическое стекловарение	Улутауский район (Актас, Надырбай)	Атасуйская зона (Баир)
		Неройский	ТМА миогеосинклинальных зон консолидированных складчатых областей	PZ ₃	Горный хрусталь для плавки; пьезокварц	Высокое Низкое	Крупные Средние	Жильный кварц прозрачный (перекристаллизованный)	Плавочное сырье; шихта для синтеза	Приполярно-Уральская субпровинция (Додо, Желанное)	Мань-Хамбинская площадь (Ярута)
		Астафьевский	ТМА эвгеосинклинальных зон консолидированных складчатых областей	PZ ₃ , MZ- KZ	Пьезооптический кварц; горный хрусталь для плавки	Высокое Среднее	Уникальные Крупные	-	-	Южно-Уральская субпровинция (Астафьевское, Джаман-Аюкар) Памирская провинция (Миона-Дара)	Полоцкий узел (Бутак); Алексеево-Горская структура
		Верхоянский	Зоны складчатых областей неполной орогении	PZ ₃ - MZ- KZ	Горный хрусталь для плавки; пьезокварц	Средне-высокое низкое	Мелкие	Жильный кварц прозрачный	Плавочное сырье	Верхоянская провинция (Касалин, Сакынды), Сванетско-Рачинский район (Саброле)	Аварское Койсу (Айшат-Кули); Горный Алтай (Кара-Каба, Инское)
Экзогенный	Хрусталеносные пролювиально-аллювиальные россыпи	Светлинский	Площади развития коры выветривания на хрусталоносных объектах	KZ	Пьезооптический кварц	Высокое	Крупные	-	-	Южно-Уральская субпровинция (Светлое, Речное)	Новоалексеевское

* – градация месторождений по масштабам минерализации приведена по классификации ВНИИСИМС (Ю.А. Шатнов и др., 1985г.)

При выделении провинций используется в основном принцип соответствия их определенным региональным структурам. В большинстве случаев для провинций характерны хрусталеносные образования одного генетического класса и даже одной формации, хотя для некоторых из них установлено и совмещение разнотипной минерализации (типа Казахстанской провинции, с продуктивными пегматитами, кварцевыми жилами и грейзенами). Для районов обычно развитие образований одной формации и даже одного структурно-формационного типа.

В принятой за основу схеме районирования (В.В. Менчинский и др., 1980г.) рассматриваются в обобщенном варианте кварценосные объекты всех типов. В связи со спецификой настоящей работы нами выделены только те провинции (районы), где на фоне общей кварценосной минерализации проявлены объекты с промышленной хрусталеносностью или (для второстепенных территорий) проявлена только хрусталеносная минерализация. Индексация и наименование провинций (районов) сохранены в исходном варианте. Группировка регионов, основанная на приуроченности к определенным структурным единицам и определенным миператеническим эпохам, также сохраняет ранее разработанные подходы. В соответствии с ними выделяются:

- провинции зон активизации древних щитов (Украинская, Южно-Якутская);
- провинции (районы) активизированных срединных массивов – субплатформ Улутауский р-н);
- провинции консолидированных складчатых областей палеозоя (Уральская, Овостемельская, Таймырская, Алтае-Саянская, район Нагольного Кряжа);
- провинции (районы) молодых (МЗ-КЗ) складчатых областей (Верхоянская, Кавказская, Памирская провинции; Верхне-Буреинский, Кеткарский, Момский и Тангышлакский районы).

Главными из них по масштабам хрусталеносной минерализации являются Украинская, Уральская, Южно-Якутская и Памирская провинции, а также Улутауский район. Остальные объекты (включая типовые провинции Верхоянья и Кавказа, Джунгаро-Балхашский, Верхне-Буреинский и Кеткарский районы) являются второстепенными по своему практическому значению.

Украинская провинция объединяет пегматитоносные районы (Коростенский и Орсуль-Новомиргородский) древнего Волынского щита. Провинция рассматривается как типовой регион развития хрусталеносных камерных пегматитов волынского типа, с типом на примере одноименного месторождения.

Уральская провинция как хрусталеносный регион подразделяется на Приполярно-Уральскую и Южно-Уральскую субпровинции и автономный Вишерский район. Субпровинция П.Урала приурочена к северному замыканию Центрально-Уральского поднятия, Южно-Уральская субпровинция – к Восточно-Уральскому поднятию. Специфика этих структур наложила свой отпечаток на особенности хрусталеносности этих территорий, что определило развитие здесь обособленных структурно-формационных типов месторождений. Для П.Урала определяющими являются объекты неройского типа, с более важными месторождениями Додо, Желанное и Пелингичей. Для Ю.Урала главные промышленные объекты представляют астафьевский тип (месторождения Астафьевское и Саман-Акжар). Здесь же проявлены россыпные хрусталеносные образования (типовой объект – Светлинское месторождение, менее значительные – Новоалексеевское, Речное и др.). В целом Уральская провинция является базовым регионом России как в отношении геооптического кварца (87.6% запасов), так и горного хрусталя для плавки (82.0%), в том числе высокосортного. С кварцевыми жилами П.Урала связываются также значительные ресурсы высококачественного прозрачного кварца.

Южно-Якутская (или Алданская) хрусталеносная провинция приурочена к центральной части Алданского щита. В неё включаются Верхне-Алданский и Верхне-Тимонский

районы и Амгинский узел. По схеме Я.Н. Соколова, А.И. Захарченко и А.В. Осинского сюда же включалась и площадь Кет-Капского (Гонамо-Учурского) района, который нами рассматривается как автономная хрусталеносная единица. На площади провинции проявлены исключительно своеобразные месторождения кварцитов толщи (Якутский тип) с наиболее характерными типовыми объектами – месторождениями Перекатное, Холодное, Малый Нихот и Килерчи. Объекты региона содержат до 12,4% пьезокварца России и до 18,0% горного хрусталя для плавки. Однако в целом провинция в отношении горного хрусталя в связи с интенсивной эксплуатацией истощена (неразведанные перспективные объекты отсутствуют).

Памирская провинция до конца 70-х годов являлась достаточно надёжным источником пьезокварца, хотя и не сопоставимым с основными регионами (общие запасы – до 6% от всех запасов СССР). Горный хрусталь служил именно источником пьезокварца, при весьма ограниченном выходе плавочного материала (по сути – на уровне попутного полезного компонента). Месторождения провинции, локализованные преимущественно в пластах песчаников – кварцитопесчаников докембрия, имеют много общего, что видно на примере типового месторождения (Миона-Дара).

Улутауский хрусталеносный район связан с Улутауской зоной поднятия Центральной Казахстана. Специфику района определяют крупные кварцево-жильные тела с наложенной хрусталеносной минерализацией (актасский структурно-формационный тип). При невысоком уровне хрусталеносности (по пьезокварцу – не более 4,7 % от российских запасов, по горному хрусталю для плавки – 15 %) комплексные месторождения района легкодоступны и с устойчивым выходом сырья (Актас, Надырбай, Котр), могут быть весьма перспективными для отработки объектами.

Второстепенные по значению провинции и автономные районы, как правило, включают мелкие, непромышленные в современных условиях хрусталеносные объекты разных генетических классов и типов. Джунгаро-Балхашский район Казахстана объединяет в основном пегматитовые образования специфического (флюоритового) типа минерализации. Практическое их значение, в том числе и наиболее крупного Кентского месторождения, в целом весьма ограничено. Однако до недавнего времени месторождения (Кент, Акжайлы, Новоромановское) отрабатывались на пьезокварц и флюорит (в том числе оптический), также на керамическое сырьё (Зерендинское). С Чингиз-Тарбагатайским районом Казахстана связано одно из немногих разведанных хрусталеносных месторождений грейзенового типа (Калмык-Кырган). Районы с другими типами хрусталеносных образований пневматолитово-гидротермального класса в пределах России известны в основном на Д. Востоке. Кет-Капский (Гонамо-Учурский) район, с типовыми апоскарновыми месторождениями Дальнее и Кет-Кап, выделен на площади мезозойской активизации восточного замыкания Алданского щита и условно относится к Охотско-Колымской провинции с другими подобными территориями (типа Омолонского района). Верхне-Буреинский район с хрусталеносными RM-кварцевыми жилами (Олгинское месторождение) и грейзенами, выделен в контурах Монголо-Охотско-Кварценосной провинции.

Другие из второстепенных хрусталеносных регионов представлены главным образом объектами кварцевожильной формации верхоянского типа. Верхоянская провинция объединяет хрусталепроявления Верхоянского мегантиклинория и примыкающего к нему юго-востока антиклинория Сетте-Дабана. Здесь, в границах Орулганского района Томпонской зоны, развиты слабо хрусталеносные жилы (мелкие месторождения Касалин, Сакиндя), не имеющие практического значения. Хрусталеносные районы Кавказской провинции (Сванетско-Рачинский и Дагестанский) приурочены к зонам погружения геоантиклинального поднятия Главного хребта, осложнённого разнознаковыми структурами более высоких порядков. Типовые объекты, близкие по минерализации к верхоянским проявлениям – мелкие месторождения Саброле и Айшат-Кули – не представляют

настоящее время серьезного практического интереса. Близкие к ним по типу минерализации, условиям залегания и масштабам хрусталеносные объекты развиты в пределах Новоземельской и Алтае-Саянской провинций (Горный Алтай), а также в границах Момского (Илинътасского) района. Практического значения они не имеют.

На прилагаемой схеме размещения хрусталеносных территорий (рис. 1.) сохранены в основном границы карты В.В. Менчинского и др., а также оставлена без изменения нумерация провинций и районов. Приводимое ниже рассмотрение типовых месторождений проводится в порядке, отражающем в основном рубрикацию формационной классификации (табл. 2.1.). Рассматриваются последовательно объекты пегматитового, пневматолит-гидротермального и метаморфогенно-гидротермального классов, а также хрусталеносные россыпи. Регионы с развитием хрусталеносных кварцевых жил представляются в целом в хронологической последовательности их становления.

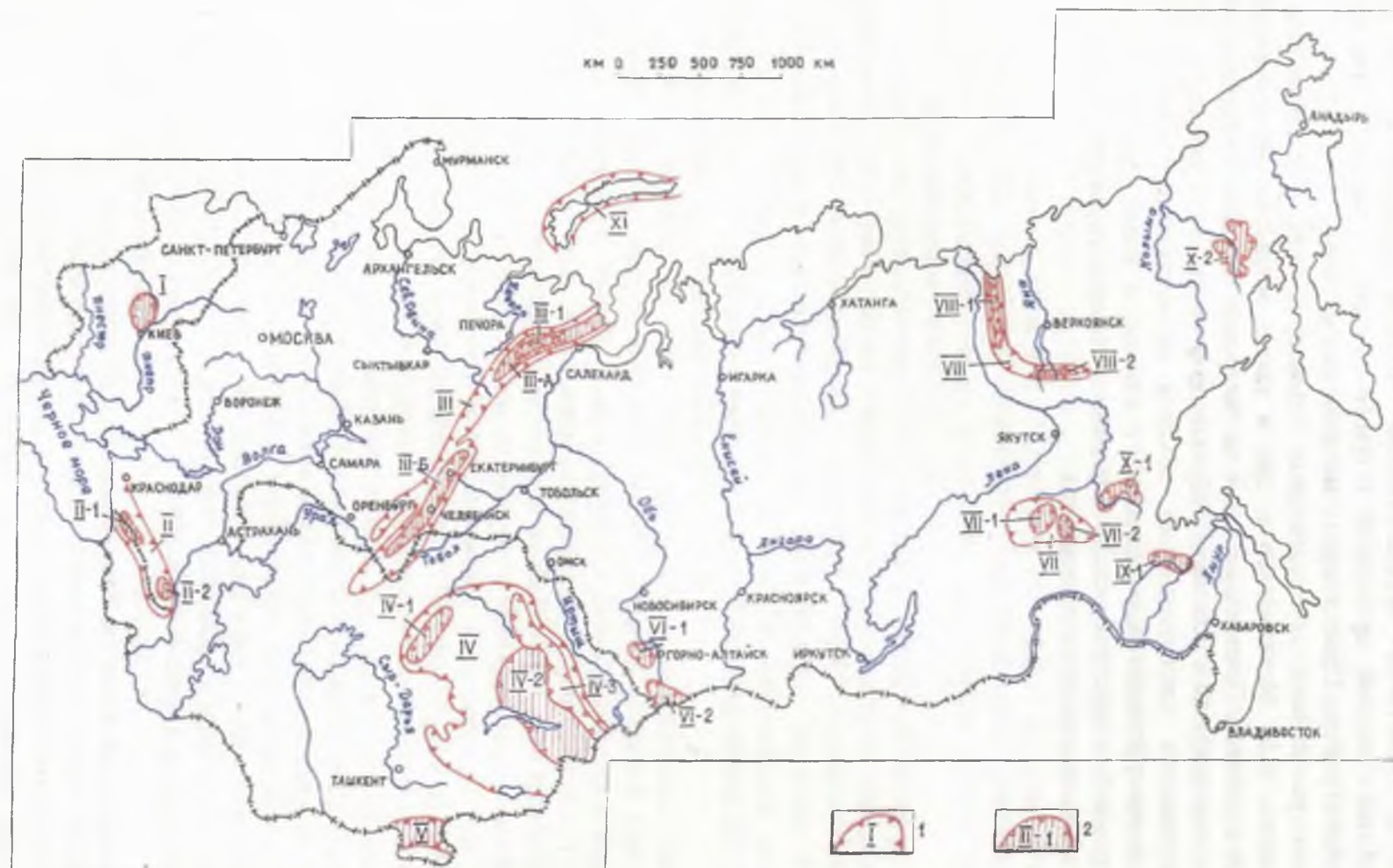


Рис. 1. Схема размещения хрусталеносных районов России и стран СНГ

1 – хрусталеносные провинции и их обозначения. 2 – основные хрусталеносные районы (субпровинции). Перечень хрусталеносных территорий: I – Украинская провинция. II – Кавказская провинция: II-1 – Сванетско-Рачинский район, II-2 – Дагестанский район. III – Уральская провинция: III-A – Приполярно-Уральская субпровинция, III-1 – Ляпинский район, III-B – Южно-Уральская субпровинция. IV – Казахстанская провинция: IV-1 – Улутауский район, IV-2 – Джунгаро-Балхашский (Прибалхашский район), IV-3 – Чингиз-Тарбагатайский район. V – Памирская провинция. VI-1 – Северо-Алтайский район. VI-2 – Южно-Алтайский район. VII – Южно-Якутская (Алданская) провинция: VII-1 – Верхне-Алданский район, VII-2 – Верхне-Тимптонский район. VIII – Верхоянская провинция: VIII-1 – Орулганский район, VIII-2 – зона Томпо. IX-1 – Верхне-Буреинский район. X-1 – Гонамо-Учурский (Кет-Капский) район, X-2 – Омолонский район.

3. ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕГМАТИТОВОГО КЛАССА

На территории России и прилегающих стран СНГ месторождения горного хрусталя, связанные с пегматитами, известны только на Украине и в Центральном Казахстане. На Украине это Волынское месторождение, в Казахстане – месторождения Кент, Бесоба, Акжайляу, Новоромановское. За их пределами известны лишь незначительные проявления пегматитов хрусталеносного типа, в основном – близкие к казахстанским объектам. К ним относятся проявления Саввушкинское (Колыванское) на Алтае, Самсал (В.Саян), Адун-Долон (В. Забайкалье), Бекчи-Ул (Нижнее Приамурье) и др.

В качестве типовых объектов рассматриваются два основных промышленных месторождения данного класса – Волынское и Кент.

3.1. Волынское месторождение

Волынское месторождение пьезокварца расположено на территории Володарского Волынского района Житомирской области Украины.

Геологическое изучение Волынского месторождения началось с первых описаний находок мориона В.М. Севергиным в 1809г. и Г.О. Осовским в 1867г. Однако специализированные работы на месторождении были организованы лишь в 1931г. на топаз, в 1934г. – на пьезокварц, с интенсивной его эксплуатацией начиная с 1944г. До 1961г. изучались и отрабатывались пегматитовые тела (в основном эродированные) и россыпи центральной, наиболее богатой части месторождения. С 1961г. проводятся интенсивные поиски, разведка и эксплуатация коренных пегматитовых тел до горизонта 100 м, а с 1976г. – частично оцениваются и более глубокие горизонты (200 м). На ранних этапах работ наибольший вклад в изучение месторождения внесли Б.А. Гаврусевич, Л.Л. Иванов, Ч.И. Безбородько, Н.А. Волотовская, В.С. Соболев и др., позднее – Е. Д. Полякова и В.А. Смирнова, составившие первую геолого-структурную карту месторождения. Непосредственное изучение и освоение месторождения проводилось целым рядом геологов, из которых наиболее важные работы связываются с именами В.Т. Клочкова, Г.Н. Шасткевич, Е.К. Лазаренко, а с начала 60-х годов – В.С. Булгакова, И.С. Василишина, В.И. Панченко, Л.И. Мусского, Н.П. Шейгаса и др.

По результатам поисково-оценочных, разведочных и эксплуатационных работ всего периода освоения (1931-96гг.) Волынское месторождение определилось как крупный промышленный объект, с балансовыми и отработанными запасами пьезооптического кварца и горного хрусталя для плавки; ограночного кварца, топаза и берилла как попутных компонентов. Прогнозные ресурсы по объекту до глубины 100 м сопоставимы с отработанными – разведанными запасами.

По своим масштабам и особенностям минерализации Волынское месторождение является типовым объектом формации хрусталеносных камерных пегматитов волынского (топаз-бериллового) типа, со своими геологическими, петрографическими и минералогическими особенностями.

Геологическое строение района месторождения

Волынское месторождение находится в северо-западной части Украинского (Волынского) щита и приурочено к эндоконтактовой части гранитного интрузива сложного Соростенского плутона (Василишин И.С., Панченко В.И. и др., 1979г. Клочков В.Т. Панченко В.И. и др., 1975г. Носов И.С. и др., 1990г.)*. Формирование плутона, по результатам комплекса исследований, связывается с образованием крупных региональных

разломов (СЗ) в древнем кристаллическом фундаменте щита в среднем протерозое. Площадь плутона, имеющего в плане субизометричную форму, составляет более 12000 км². Рамой служат в основном нижнепротерозойские гнейсо-мigmatиты и граниты. В состав собственно плутона входят три серии пород: основные, кислые и их гибридные производные, дополняемые ограниченно развитыми щелочными и кислыми жильными дериватами (рис. 2.).

Основные породы ($\gamma\text{PR}_2^2\text{KS}$) слагают два крупных, площадью до 1000 км², и ряд малых массивов и ксенолитов в окружающих гранитах, к востоку от главной пегматитоносной полосы. Представлены они лабрадоритами, габбро-лабрадоритами, габбро-норитами и норитами. Лабрадориты и габбро-лабрадориты – крупнозернистые, серые или тёмно-серые, с типовым для подобных пород составом: лабрадор, пироксены, реже – оливин, с биотитом и роговой обманкой. Габбро-нориты – преимущественно средне-мелкозернистые, оливковые; породообразующие минералы (кроме оливина) – разнотипные пироксены, плагиоклаз, изредка – с КШШ, роговой обманкой и биотитом. Нориты представлены преимущественно мелкозернистыми разностями, в т.ч. кварцевыми, кварц-оливиновыми и оливиновыми.

Кислые породы ($\gamma\text{PR}_2^2\text{KS}$) распространены ещё более широко и занимают площади в основном к западу от габброидного массива. Наиболее распространенным и характерным для плутона и месторождения является тип коростенских биотит-роговообманковых рапакививидных гранитов. На основе микроструктурных признаков в районе месторождения Л.С. Криволап выделено 6 разновидностей. Для основной его части наиболее характерны три типа:

граниты печаткопорфировидные, среднезернистые ($\gamma^1\text{PR}_2^2\text{KS}$), пироксеновые, пироксен-роговообманковые и др.;

граниты порфировидные, мелко-и среднезернистые ($\gamma^2\text{PR}_2^2\text{KS}$); биотитовые, биотит-роговообманковые и др.;

граниты порфировидные, пойкило-пегматитовой структуры ($\gamma^3\text{PR}_2^2\text{KS}$); биотит-роговообманковые.

Гибридные породы ($\zeta\text{PR}_2^2\text{KS}$) развиты на контакте гранитоидов и основных пород и развиваются по тем и другим. В первом случае сформированы зоны пород сиенитового ряда во втором – группа монцонитовых разностей. Первые характеризуются средне-мелкозернистой структурой, светло-серой – серой окраской; вторые – массивной текстурой мелкозернистой структурой, повышенным содержанием КШШ, темной (до черной) окраской.

Щелочные породы представлены мясо-красными сиенитами, жильные породы (эндоконтактовая фация гранитоидов) – гранит-порфирами, гранодиоритами и др.; те и другие пользуются ограниченным распространением, преимущественно в зоне контакта гранитов и габброидов.

В структурном отношении Коростенский плутон представляет собой достаточно сложное образование (Булгаков В.С., Осадчук К.В. и др., 1984г.). Основные особенности строения определяются соотношениями составляющих его разнородных по составу интрузий и наложенной разрывной тектоникой. Интрузии гранитоидов и основных пород сочленяются по сложному, достаточно резкому контакту. Для юго-западной части характерно развитие контакта с падением условной поверхности в сторону основных пород с различными углами наклона (от 45-50° до 90°); хотя наблюдаются (особенно в зоне более северной позиции) и обратные соотношения. Для северной и восточной части плутона фиксируется, как правило, перекрытие гранитами габброидных пород, а для южного фланга – вертикальное залегание контакта. Под гранитами и в западном, и в восточном обрамлении

* – Первые ссылки на литературу по каждому разделу отражают основные источники геологической информации.

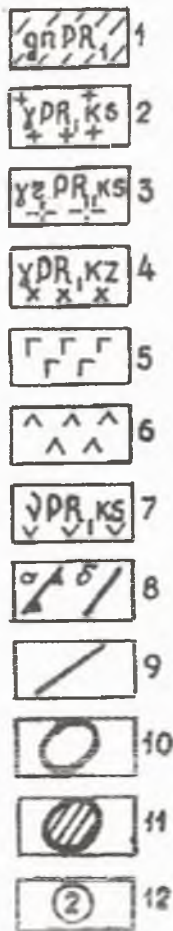


КМ 0 25 50 75 КМ



Рис. 2.

Геологическая карта
Коростенского плутона
(по И.С. Василишину,
В.И. Панченко, 1975г.)



1 — гнейсы. 2 — граниты
разнозернистые. 3 — гра-
ниты рапакиви раз-
нозернистые. 4 граниты
кировоградско-житомир-
ского комплекса. 5 — гиб-
ридные гранитоиды.
6 — гранитизированные
габброиды 7 — габбро,
габбро-нориты, габбро-
анортозиты. 8 — контакты
габброидов и гранитоид-
дов: а) пологий, б) кру-
топадающий. 9 — разломы.
10 — поля бескамерных
пегматитов. 11 — поля
занорышевых пегматитов.
12 — номера участков: 1 —
Дворищанский, 2 — Виш-
няковский, 3 — Писарев-
ский, 4 — Северный,
5 — Западный, 7 — Рих-
тенский, 8 — Гута-
Потиевский, 9 — Потиев-
ский, 10 — Западно-
Топорищанский, 11 — То-
порищанский, 12 — Паро-
мовский

по геофизическим данным предполагается развитие блоков тех же габброидов, с различными линейными параметрами и глубиной залегания. Контакт габброидов-гранитов осложняется в ряде случаев формированием псевдосинклинальных (падение контакта внутрь структуры) и псевдоантиклинальных (падение в сторону от оси) форм различного порядка ограничивающих участки прямолинейной ориентировки контактов. Отмечаются также выступы тех и других пород в сторону сопряженной интрузии при вертикальном залегании контактов (вертикальные "псевдоскладки").

Наложенная разрывная тектоника проявилась в формировании крупных разломов субширотной ориентировки (Краевщинского, вдоль р. Иршица, Теренецкого, вдоль р. Лотовня и В.Иршица; Роговского), обусловивших наряду с более древними тектонозоонами ступенчато-блоковое строение отдельных участков Коростенского плутона. В меньшей мере проявлены нарушения концентрической (по отношению к контакту габброидов) радиальной ориентировки; как правило — малоамплитудных, отражающих скорее все генеральные направления первичной неоднородности плутона.

Особенности размещения пегматитовых образований

Коростенский плутон достаточно насыщен пегматитовыми полями, образующими по сути единый Коростенский пегматитоносный район. В его пределах условно выделяется более 15 пегматитовых полей ("участков"). В западной части района это Паромовский, Дворищанский, Вишняковский, Писаревский, Северный, Усолуский, Южный, Топорищанский, Кривотинский, Западный участки. В восточной части территории Иршинский, Рихтенский, Потиевский, Гута-Потиевский, Радомышльский участки (поля). Интенсивность развития пегматитов в пределах полей — различна, площади полей — также в большинстве случаев мало сопоставимы, так же как уровень их продуктивности. Тем не менее, намечается ряд характерных особенностей размещения и пегматитовых полей в целом, и их продуктивных (с промышленной минерализацией) типов.

В целом для полей развития пегматитовых образований характерна приуроченность приконтактной (с габброидами) зоне гранитоидной интрузии, с удалением от контакта на более первых километров (2,0-2,5 км). Локализация полей — практически в гранитах всех типов, вне зависимости от их состава и структурных характеристик. Отдельные поля (Усолуский участок) локализованы в зоне контакта гранитов с древними гнейсами и мигматитами. Строение контактов гранитов и габброидов практически не влияет на развитие пегматитовой минерализации как таковой — поля располагаются вдоль контактов и перекрывающим залеганием габброидов, и на участках вертикального залегания контактов, в условиях обратного положения гранитов и основных пород. Слабое влияние оказывает наличие или отсутствие пегматитовой минерализации развитие структурных осложнений в строении плутона (кроме самого контакта).

В то же время анализ развития продуктивных пегматитовых образований (Василиш И.С., Шейгас Н.П. и др., 1974г.; Клочков В.Т., Панченко В.И. и др., 1975г., Шатнов Ю.А. и др., 1992г.) показывает достаточно четкий набор факторов, определяющих локализацию полей с промышленной пьезокварцевой минерализацией. В иерархической шкале влияния отдельных факторов на поля продуктивной пегматитовой минерализации (по уровню информативности применительно к прогнозно-поисковой системе "Регион") установлено следующая последовательность:

- блоки гибридных гранитоидов горизонтальной мощностью 1,0-2,5 км, в границах развития рапакивиоподобных пород;
- участки этих блоков с подстилающими (предполагается по данным геофизическим данным) габброидами;

– участки контактов с падением в сторону габброидов (перекрывающее положение этих последних);

– площади полей, ограничивающихся псевдосинклинальными осложнениями контакта;

– разрывные зоны концентрической ориентировки (в гранитоидах);

– в геофизических полях продуктивные поля локализуются в зонах сочленения – и +

Гравитационных аномалий или в четких + аномалиях, на участках развития пород с $\Delta Z = -100 - +100$ ед.

Именно эти характеристики являются определяющими для продуктивных полей (участков) Дворищанского, Вишняковского и Паромовского, составляющих собственно Волынское месторождение хрусталеносных пегматитов (рис. 3.).

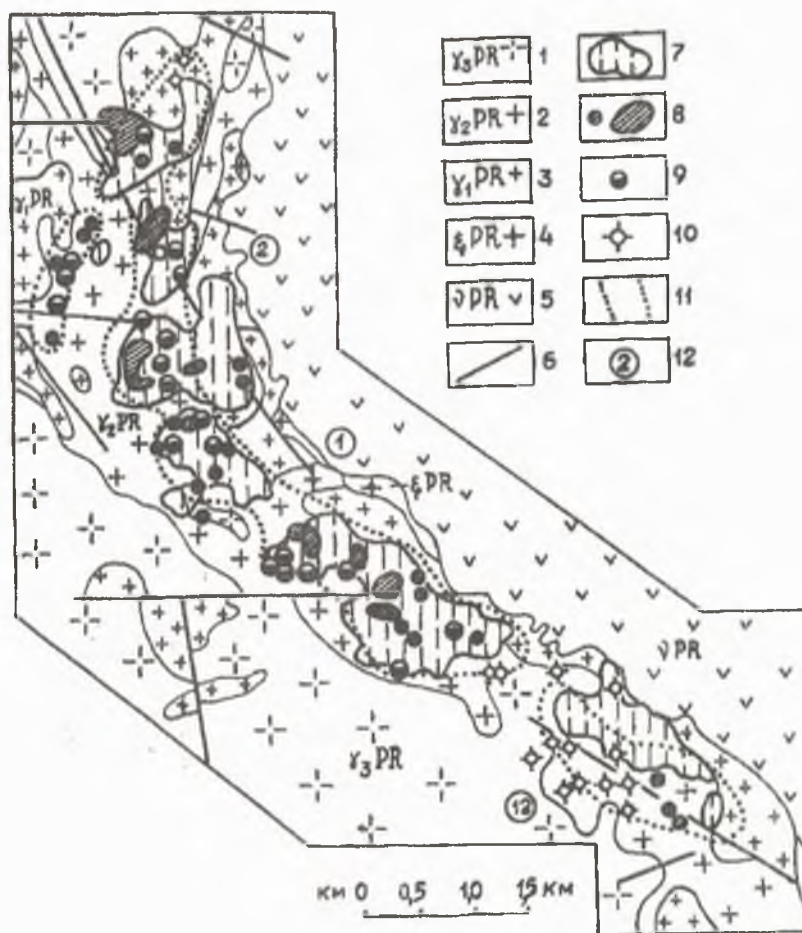


Рис. 3. Геологическая карта Волынского месторождения
(по И.С. Василишину, В.И. Панченко)

– граниты порфировидные: пойкило- и аплитопегматитовой структуры. 2 – гранулит-аплито-пойкилитовой

структуры. 3 – граниты нечёткопорфировидные. 4 – сиениты и граносиениты. 5 – породы основного состава.

– разрывные нарушения. 7-9 – пегматитовые тела и группы тел с запасами пьезокварца в моноблоках:

– до 50 кг, 8 – от 50 до 300 кг, 9 – более 300 кг. 10 – россыпи. 11 – контур зоны развития пегматитов на

глубине 100 м. 12 – номера участков: 1 – Дворищанский, 2 – Вишняковский, 12 – Паромовский

Размещение пегматитовых тел в границах месторождения крайне неравномерное (по И.С. Василишину, В.И. Панченко и др., 1979г.) В пределах поля выделяются пегматитовые зоны, обычно вытянутые вдоль контакта гранитоидов и основных пород. Зоны включают серии пегматитовых тел, в том числе и продуктивных, характеризуются их повышенной

концентрацией и размерами, в то время как за их пределами выделяются лишь разрозненные тела, как правило, непродуктивных типов. Пегматитоносные зоны собственно месторождения (центральной его части) занимают около 30 % площади, на краевых участках – от 8 до 25 %. В границах зон пегматиты размещаются также крайне неравномерно, образуя сгущения (группы) пегматитовых тел. Группы – это сложные структурно-морфологические образования, содержащие до нескольких десятков сближенных продуктивных непродуктивных пегматитов. Локализуются они в зонах сложного чередования гранитов γ^1 , γ^2 с интенсивной гидротермальной переработкой (пелитизация, альбитизация, серицитизация). Размеры групп пегматитов в плане – 200-600 м; вертикальный размах 100-150 м. Количество продуктивных тел в группах достигает 30 единиц. Площадь групп – до 90000 м².

В центре групп, как правило, локализованы высокопродуктивные занорышевые пегматиты. На периферии располагаются низкопродуктивные тела различных типов.

Структура групп по вертикали неоднородна и характеризуется резким изменением концентрации пегматитов. По глубине залегания пегматиты в группах приурочены к трем горизонтам: 210-185 м, 184-160 м, 159-110 м (абс. отм.). Основное количество продуктивных тел (и запасов полезного ископаемого) приходится на первый горизонт (210-185 м). Существуют большие различия и в степени концентрации пегматитовых тел в гранитах – от очень высокой, в тесных цепочках, и до очень низкой, по сути – фоновой для пегматитоносных зон. По развитию полезного компонента группы пегматитов подразделяются на собственно кварцевые (до 15 групп), кварц-топазовые (до 14 групп), кварц-топаз-берилловые (12 групп). Достаточно четко пегматитовые группы дифференцируются и по продуктивности. Высокопродуктивные группы имеют средние размеры (площадь 30000-70000 м²), среднее количество тел (от 5 до 15), имеют субизометричную – эллипсовидную форму, тяготеют к контакту гранитов γ^1 и γ^2 и располагаются в центральных участках зон.

Группы средней продуктивности – площадью 10000-40000 м², с меньшим количеством продуктивных тел (2-8), располагаются по периферии пегматитоносных зон. Низкопродуктивные группы имеют различные размеры (20000-60000 м²), небольшое количество промышленных пегматитов (2-5); располагаются также на периферии пегматитоносных зон.

Классификация пегматитов

Пегматиты Волынского месторождения по структурно-морфологическим и генетическим признакам достаточно четко подразделяются на два типа:

тип I – беззанорышевые непродуктивные тела;

тип II – камерные полнозональные пегматиты (продуктивный тип).

Пегматиты I типа – аплитово-пегматитовые и шпироподобные тела, шпир и зональные "сухие" пегматиты (без гидротермальной переработки). Обычно это мелкие (кроме "сухих" пегматитов) тела – 0,1-3,0 м в поперечнике, изометричные, сложенные породой графической или пегматоидной структуры, без признаков зональности; миароловые пустоты превышают 8-10 см в поперечнике. "Сухие" пегматиты – различных размеров, зональные, хорошо развитым кварцевым ядром и мелкими занорышами, но без следов гидротермальной переработки и пегматитов, и вмещающего субстрата. Не несут продуктивной минерализации.

Пегматиты II типа разделены на 4 подтипа – 2А, 2Б, 2В и 2Г. Тела подтипа 2А неправильно-удлиненные или жилеобразные, крупных размеров – 20-50 м протяженность до 18 м по вертикали. Они имеют несколько некрупных кварцевых ядер с небольшими

первые м) занорышами. Локализуются и в центральных, и в периферийных частях пегматитовых групп. Процессы изменений самих пегматитов проявлены слабо, хотя околопегматитовый субстрат (граниты) интенсивно переработан, при мощности зон изменений до 4 м над и до 8 м под пегматитовым телом (рис. 4.). Зональность пегматитов проявлена в различной степени (зональные тела – до 50 % от всего количества – обычно наиболее продуктивные).

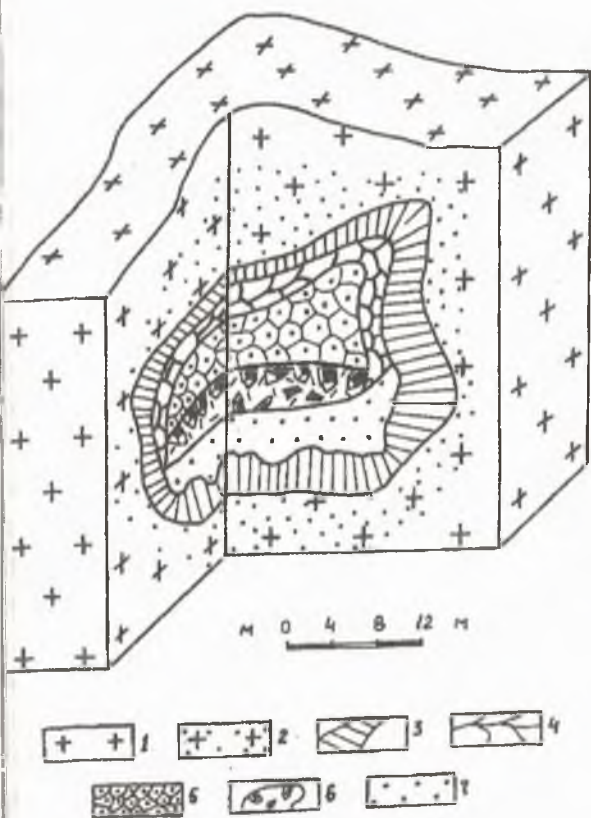


Рис. 4. Строение полнозонального пегматита волинского типа (подтип 2-Б)
1 – граниты. 2 – гидротермально измененные граниты. 3 – пегматит графической структуры. 4 – полевошпатовая зона. 5 – кварцевая зона. 6 – хрусталеносные полости. 7 – выщелочные и перекристаллизованные пегматиты

и минерально-карбонатный материал. Изменения пород – от 2 до 7 м (над и под пегматитом), слабо проявленные. Локализуются тела этого типа обычно вдоль границ групп (восточной дзоны). Продуктивность подтипа 2Г низкая из-за разрушенности кристаллосырья.

Сравнительная продуктивность пегматитов различных подтипов определяется из сопоставления запасов пьезосырья наиболее интересных (в практическом отношении) тел:

- для подтипа 2А – немногим более 100 кг мнбл;
- для подтипа 2Б – более 300 кг мнбл;
- для подтипов 2В и 2Г – килограммы – первые десятки кг мнбл.

Пегматиты подтипа 2Б – изометричные, реже выпукло линзовидные, с размерами в плане 10-20 м, по вертикали – до 11 м. Они полнозональные, имеют одно кварцевое ядро и крупный (в среднем $\approx 50 \text{ м}^3$) погреб-занорыш. Интенсивно проявлены процессы выщелачивания и метасоматоза, в отдельных телах – брекчирование. Зоны изменения гранитов – в среднем 5 и 10 м (над и под пегматитовым телом). Локализуются только в центральных частях групп, являются наиболее продуктивными на месторождении.

Пегматиты подтипа 2В обычно линзовидные, однокамерные, размерами 5-10 м в поперечнике и до 6 м по вертикали, полнозональные. Занорыш ненарушенный, размером в среднем $4 \times 2 \times 0,6 \text{ м}$. Гидротермальные процессы и в пегматите, и в гранитах проявлены слабо, в интервале 2-5 м от тела. Характерны для краевых участков пегматитовых групп. Продуктивность подтипа низкая.

Пегматиты подтипа 2Г – штокообразной формы, размерами в поперечнике 15-20 м и вертикальной протяженностью до 70 м. Характерные их признаки – неполная зональность, вытянутое по вертикали кварцевое ядро, с сильно обрушенным сводом занорышевой камеры. В занорышах – брекчия кварца и кристаллов мориона, полевого шпата и гранитов. Цемент – опал, халцедон и

Строение пегматитовых тел

В типовом варианте продуктивные пегматитовые тела полнодифференцированные включают зоны аплитов, графического пегматита, пегматоида, полевого шпата, блоковой пегматита, кварцевое ядро и занорышевую камеру. Зоны нередко выклиниваются постепенно переходят одна в другую (рис. 4.).

– Аплитовая зона характерна для жильных пегматитов, имеет мощность 0,1-1,0 м и играет роль краевой оторочки.

– Графическая зона – обычно прерывиста, наиболее проявлена в телах подтипа 2Г, мощность достигает 10 м; неоднородного состава (возрастание зернистости от периферии к центру пегматитовых тел).

– Пегматоидная зона располагается над породами структурных центров и в их боковых участках. Мощность её от 0,5-2,0 м (подтип 2В) до 5-10 м (подтипы 2А и 2Б). Обычно перемежается с участками других зон (графической и блоковой).

– Полевошпатовая зона не характерна лишь для подтипа 2Г; развита она надзанорышевой части пегматитов или над кварцевым ядром, достигая мощности 4,0 м. Сложена блоками КППИ размерами до 3,0 м, клевеландитом и сахаровидным альбитом пачками слюды.

– Блоковая зона является составной частью структурных центров в телах подтипов 2В; в некоторых телах подтипа 2Б и в подтипе 2Г отсутствует. Мощность зоны – до 4,0 м, размеры блоков КППИ и кварца – до 1,0 м.

– Кварцевое ядро ("зона серого кварца") составляет основу структурного центра пегматитов. Форма его чаще неправильная, линзовидная, редко – близкая к изометричной. В подтипе 2Г – столбообразная. Мощность – до 4,5-5,0 м, в последнем случае до 9,0 м. Сложено массивным и плитчатым кварцем, с редкими блоками полевого шпата и мелкими занорышами.

– Зона свободного роста кристаллов (занорыш) тяготеет к центральной части пегматитовых тел, к нижним участкам кварцевого ядра. Размеры занорышей – до 6х4х1,5 м. В отдельных случаях – объемом до 250 м³. Обычно в теле 1 занорыш, в телах подтипа 2А – до 2 и более полостей. Форма занорышей – линзовидная, щелевидная, реже – изометричная. Обычны морионовые, топаз-морионовые, реже – берилл-морионовые занорыши; берилл и топаз располагаются в донной и боковых частях полостей. Снизу камеры окаймляются альбитизированными, выщелоченными и перекристаллизованными пегматитами графической, апографической и пегматоидной структуры. Нарушенные занорыши состоят из обломков и кристаллов кварца, полевого шпата и пегматитовой породы, с цементацией (локально) опалом, халцедоном и слюдисто-карбонатным материалом. Иногда (в подтипе 2Г), в участках обрушения, наблюдаются открытые полости. Характерное гнездовое выполнение – мелкообломочный кварц и глинисто-слюдистая масса.

Около занорышевых полостей, к низу и в стороны от них, формируются зоны выщелачивания и перекристаллизации, мощностью от 0,8 до 6,0 м, иногда – до 20 м. Для этих зон характерен полевошпатовый состав, высокая пористость и развитие альбитовых агрегатов. В зависимости от исходного субстрата зона слагается или друзовидным полевошпатовым агрегатом, или "ребристой" породой (из альбита, гидрослюда, флюорита, топаза, рутила и др.), или альбит-микроклиновой породой с биотитом и карбонатом.

В целом состав пегматитовых тел достаточно разнообразен (известно до 40 минеральных компонентов, по А.К. Лазаренко).

Главные минералы – кварц, полевой шпат и слюды (не менее 90 % объема пегматитов). Второстепенные минералы – топаз, берилл, флюорит (реже), сидерит, хлорит, фенакит и др. Они встречаются в большинстве пегматитов, но в неравнозначном количестве – от микрозерен до кристаллов весом в десятки кг. Редкие минералы – пирит, ильменит, циркон

Гематит, рутил, турмалин, апатит, монацит. Обычно — это мелкие аксессуарные выделения (менее 1 мм).

Промышленно ценные минералы — кристаллы кварца (морион), топаз и берилл. Кристаллы мориона своей корневой частью прикреплены к верхней кварцевой стенке. Образуют параллельные сростки и друзы: с хорошей огранкой, наиболее крупные. Стенки камер — с более мелкими кристаллами мориона, в некоторых занорышах — топаза, берилла и слюды. Донная часть — с индивидами кварца, друзами альбита, микроклина, кристаллами топаза и слюды.

Уровень заполнения занорышей кристаллосырьем — от 10 до 70%; кондиционное сырье как правило находится в донной части занорыша, где вес кристаллов достигает 50-1000 кг. Наилучшим качеством обладают кристаллы короткопризматической формы. В обелисковидных и длиннопризматических кристаллах монообласти редки; размеры кристаллов достигают 1,0 м по L_3 и более.

Оценочные признаки продуктивных пегматитовых тел (по И.С. Василишину, В.И. Панченко)

Основные признаки продуктивных тел:

1. залегание в зоне сложного контакта $\gamma^1_r - \gamma^2_r$ и $\gamma^3_r - \gamma^4_r$;
2. центральные части пегматитовых групп;
3. полная зональность;
4. интенсивные околожилные изменения (мощность более 1 м);
5. наличие в ядре полупрозрачного плитчатого кварца дымчатой окраски.

Второстепенные признаки:

- а. повышенная мощность зон изменения;
- б. изометричная, линзовидная форма;
- в. цвет — розовато-серый;
- г. наличие аксессуарий сидерита, рутила, циннвальдита, топаза, протолитиионита;
- д. развитие зон выщелачивания в гранитах (по темноцветным минералам).

Признаки, указывающие на повышенное количество и качество кристаллосырья:

1. Оптимальные размеры проекции сечения на горизонтальную плоскость: 2А — 500 м²; 2Б — 250 м²; 2В — 90 м².
2. Форма занорышей: лучшие — изометричные; средние — линзовидные; хуже — щелевидные.
3. Выполнение занорышей: кристаллосырьем — 30-40 %.
4. Положение кристаллов в занорыше — самые лучшие в центральной и донной части.
5. Форма и размеры кристаллов: наилучшие короткопризматические 0,3-1,0 м по L_3 ; весом 30-1000 кг (из одного кристалла получено 500 кг пьезокварца).
6. Положение в вертикальном сечении: подтипы 2А и 2Б с глубиной резко уменьшаются.

Практическая оценка Волынского месторождения пегматитов

По сумме отработанных и сохранившихся на балансе запасов Волынское месторождение является крупным промышленным объектом пьезокварцевого сырья. Отработанные и подсчитанные ранее запасы кварца для плавки определяют его также как крупное промышленное месторождение плавочного сырья. Однако из-за высокой насыщенности кварца химическими примесями плавочный материал месторождений (табл. 3.1.) этого типа в настоящее время спросом не пользуется. В то же время на попутное

ограниченное сырье месторождения (морион, топаз, берилл) спрос постоянно растет, и в этом отношении значимость объекта существенно повышается.

Таблица 3.1.

Состав элементов-примесей в кристаллах кварца Волынского месторождения
(по данным ПО «Западкварцсамоцветы»)

Значение характеристик	Содержание элементов-примесей $\cdot 10^{-4}\%$											ΣЭП
	Cu	Ti	Li	Ca	Ge	Mg	Mn	Al	Fe	Na	K	
Среднее (по 24 пробам, без «ураганных» значений)	0,10	10,0	16,0	1,73	1,3	0,5	0,10	115,0	1,0	2,2	1,3	149,2
max	1,4	27,0	32,0	10,0	3,0	2,5	0,6	250,0	78,0	62,0	23,0	
min	0,01	3,0	0,8	0,5	0,9	0,06	0,04	7,0	0,3	0,5	1,0	

Отработанное на Волынском объекте количество продуктивных тел превышает 150 ед. характеристика продуктивности каждого из них приведена в таблицах 3.2., 3.3., 3.4. При этом основная часть тел отработана в интервале 10-50 м от поверхности, в том числе эродированные тела в зоне каолинизации. С глубиной уменьшается количество продуктивных пегматитов и их насыщенность кристаллосырьем в целом, и пьезокварцем в том числе. В этой связи, при относительно низкой рентабельности отработки верхних интервалов месторождения, освоение его более глубоких горизонтов (100-200 м) не представляется экономически целесообразным. А именно на этот интервал приходится до 20% прогнозных ресурсов объекта. Реальный их учет и освоение более чем проблематичны.

Фактическое состояние отработанных и подсчитанных запасов пьезооптического сырья по положению на 01.01.88г. приведено в таблице 3.5.

Таблица 3.2.

Промышленная характеристика пегматитов Волынского месторождения

Подтип пегматита	Размеры, м	Добыто (средние)			
		Кристалло-сырья, т	Пьезокварц, кг	Горный хрусталь для плавки, т	Топаз, кг
2А	30х35	5,6	17	1,4	27
2Б	19х12	15,7	78	7,1	47
2В	13х9	5,0	4	1,8	0
Средние на 1 тело		9,3	36	3,6	25

Таблица 3.3.

Выход пьезокварца, кварца-плавки и кварца-огранки
из кристаллосырья Волынского месторождения

Подтип пегматита	Выход из кварцевого кристаллосырья, %								Кварц ограноч- ный
	Пьезокварц (кг мнбл)					Кварц-плавка*			
	Всего	в т.ч. по сортам				Всего	в т.ч., по сортам		
		экстра	высший	I	II		I	II	
2А	0,37	23	29	40	8	33	42	58	1,01
2Б	0,77	37	24	34	5	36	43	57	2,15
2В	0,39	16	25	47	12	40	36	64	2,36
Ср.						35	43	57	1,85

* – без учета химического состава

Таблица 3.4.

Средние запасы сырья пегматитов центральной части Волынского месторождения
(по типам тел)

Под- тип пегма- тита	Класс продуктивности	Средние запасы (по факту добычи)			
		Кристалло- сырье, т	Пьезокварц, кг	Кварц-плавка, т	Кварц-огранка, кг
2А	Высокопродуктивный	35,2	122	9,5	350
	Среднепродуктивный	7,4	46	3,2	75
	Низкопродуктивный	3,9	6	1,5	40
2Б	Высокопродуктивный	57,6	653	19,2	1240
	Среднепродуктивный	25,4	160	9,2	540
	Низкопродуктивный	12,7	53	5,0	270
2В		3,1	12	1,2	50
2Г		4,9	4	0,7	95

Таблица 3.5

Сводная таблица добычи полезного ископаемого
по Волынскому месторождению на 01.01.81 г.

Данные	Глубина залегания	
	11-50 м	51-100 м
1. Оработано пегматитов	102	39
2. Добыто:		
кристаллосырья, т	1821	266
горного хрусталя для плавки, т	≈ 607	≈ 88
3. Средние запасы на одно тело		
кристаллосырья, т	17,8	6,8
горного хрусталя для плавки,	5,9	2,3
4. Распределение тел по подтипам, %		
2А	19,6	12,8
2Б	53,0	23,1
2В	19,6	56,4
2Г	7,8	7,7
5. Соотношение средних запасов		
а) кристаллосырья	1	0,38
б) пьезокварца	1	0,33
Выявляемость запасов по группам пегматитов:		
кристаллосырьё 84%,		пьезокварц-60%

Особенности оценки (подсчета запасов) пегматитов на Волынском месторождении сводятся к следующему (Василишин К.С., Панченко В.И. и др., 1979г.; Носов И.С. и др. 1990г.):

1. Запасы оцениваются по уже известным и вновь выявленным группам пегматитов залегающих на глубинах до 100 м, отдельно по каждой группе как автономному объекту ГРР, по горизонтам 11-50 и 51-100 м.

2. Оцениваются запасы кристаллосырья (т) и пьезокварца (кг мнбл). Плавка и ограничение учитываются по методу расчёта всех запасов кристаллосырья и введения коэффициента выхода соответствующих компонентов.

3. Оценка запасов отдельных групп, где пока не выявлены промышленные тела производится путем умножения запасов соответствующего горизонта на $K_{\text{снижения}}$ и увеличения продуктивности.

4. Оценка проводится после комплекса ГРР, включающего:

- поиски скважинами по сети 50х50 м;
- комплекса геофизических исследований: УКВ-радиопросвечивания и пьезопросвечивания; γ -и электрокаротажа скважин, замера искривления;
- разбраковки проявлений по степени их перспективности;
- оконтуривания групп пегматитов по площади и глубине;
- оконтуривания не менее 2-3 тел скважинами с поверхности с подсчётом по ним запасов по категории C_2 и проверки перспективных аномалий.

5. Оценка запасов – по следующим операциям:

- количество уже выявленных по группе запасов ($Q_{\text{выявл.}}$);
- расчетная вероятность выявления запасов проведенными в группе ГРР (P_i);
- количество полных запасов ($Q_{\text{полн.}}$);
- количество прогнозных запасов ($Q_{\text{прогн.}}$).

6. Запасы – вероятностно-статистическим вариантом (геолого-статистический метод);

последующем, для выявления конкретных запасов, разведуются перспективные проявления, геофизические аномалии и участки измененных гранитов. Оценка производится для всей группы пегматитов как единого геологического тела.

- При анализе результатов разведочных работ учитываются:
- полнота выявления пегматитовых тел и запасов при различной плотности буровой сети (таблица 3.6.);
 - принадлежность пегматитов к тому или иному типу продуктивных тел, с вытекающими из этого наиболее вероятными характеристиками продуктивности (таблицы 3.2., 3.3., 3.4.);
 - положение пегматитов в контурах намечающихся зон и групп.

Таблица 3.6.

Полнота выявления тел и запасов при различной сети скважин

Показатели	Полнота выявления при плотности сети			
	50х40м= 2000м ²	20х25м= 500м ²	20х12,5 м= 250м ²	12,5х10 м= 125м ²
Пегматиты	0,061	0,256	0,460	0,657
Запасы кристаллосырья	0,089	0,418	0,721	0,880
Запасы пьезокварца	0,086	0,425	0,747	0,885

3.2. Месторождение Кент

Месторождение Кент расположено в северном Прибалхашье (Центральный Казахстан), 40 км к западу от г. Каркаралинска. По приведенной выше схеме районирования входит в Прибалхашский хрусталеносный район.

В геологическом отношении месторождение (по Чижику О.Е., 1967г.) располагается в зоне сочленения Чингизского мегантиклинория с Балхашским синклинорием, являющимися основными элементами Урало-Тяньшаньской геосинклинальной области герцинид. Главными структурами мегантиклинория является Акбастауский антиклинорий, мегасинклинория – Северо-Балхашский и Токрауский синклинории, сопрягающиеся по Карадон-Темиршинскому и Каражальскому глубинным разломам.

В строении района участвуют породы каледонского и герцинского складчатых комплексов. Каледонский комплекс проявлен в Акбастауском антиклинории, где выделяются структуры ордовикского и силурийского ярусов, с характерной линейной складчатостью слагающих пород (Лукашев А.Н., Щеглов И.В., 1970г.; Соколов Я.Н., Сахарченко А.И. и др., 1961г.). Герцинский комплекс проявлен в Акбастауском антиклинории как конечный этап развития Чингизского поднятия. Это – вулканогенные породы D-C₁ (раннегерцинский этап), смятые в брахиальные и грабен-синклинальные складки. В верхнем палеозое Чингизский мегантиклинорий испытал частичную тектоническую активизацию, с внедрением крупных гранитоидных интрузий и метаморфизмом. В Балхашском мегасинклинории в раннегерцинский этап (D₂ – C₁) сохранялись унаследованные геосинклинальные условия с четкой линейной складчатостью слагающих вулканитов. Позднегерцинский этап характеризуется орогенным характером развития, с формированием брахиформных складок. Интрузивы PZ₃ – гранитоиды саурского и топарского комплексов (C₂), калдырминского (C₃) и акчатауского (P) комплексов, формирующие характерные "кольцевые" массивы (в том числе Кентский интрузив).

Кентский интрузивный массив приурочен к северной части Балхашского мегасинклинория и связан с крупными разломными зонами ("фокус" схождения Успенской,

Токрауской, Котбарской и Акбастауской зон). Обрамление массива – осадочно-эффузивные образования каркаралинской свиты (C_1) и алевролиты-песчаники D_3fm , образующие в целом "замкнутую мульду", облекающую массив. Падение пород в "мульде" – пологое ($15-20^\circ$) в сторону массива, непосредственно на контакте – достаточно крутое, в сторону от массива ($50-90^\circ$).

Общая форма интрузива – удлинённый овал северо-восточного простирания площадью до 800 км^2 , осложнённый отдельными апофизами.

Поверхность массива – пологокупольного строения, с более чёткой купольной формой в его южной части. Эрозионный срез – минимальный (сохранились останцы кровли, ксенолиты, эндоконтактные фации пород). В сечении массив близок к лакколитовому типу со смещённым к югу подводящим штоком; мощность горизонтальной части плутона около 400 м.

По составу Кентский массив является сложным образованием. В его юго-восточной и северной части проявлены диориты – гранодиориты топарского комплекса (C_2); основная площадь сложена лейкократовыми биотитсодержащими гранитами калдырминского комплекса (C_3); юго-западная часть – аляскитовыми гранитами акчатауского комплекса (C_4). Для топарского комплекса характерны гранодиориты и среднезернистые монцитониты, реже адамеллиты (главная фаза), с роговообманковыми и кварцевыми диоритами эндоконтактной фации, ороговикованными породами рамы. В калдырминском комплексе (слагает 75% площади массива) преобладают среднезернистые лейкократовые граниты; в эндоконтактной фации адамеллиты, ксенолиты роговиков, диориты, гранодиориты, порфировидные граниты. Пермский комплекс образует серповидный блок с размерами $25 \times 7 \text{ км}$ в юго-западной части массива, с пологой ($<5-30^\circ$) кровлей, осложнённой флексуобразными перегибами (амплитуда до 70 м). Форма в разрезе – неправильно штокообразная в центре, пластовая (лакколит) на восточном фланге. В составе комплекса резко преобладают аляскитовые граниты как в главной фазе, так и в ее дериватах. Для всех трех комплексов характерно проявление фазы дополнительных интрузий ("допины"), с мелкими массивами среднезернистых аляскитовых и субщелочных гранитов жильной серии – мелкозернистые аляскиты и аплитовидные граниты в виде "пластов" до 160 м мощностью и мелких жильных тел. В связи с однотипностью состава "допинов" и жильных тел отнесение их к тому или иному комплексу весьма условно, особенно – для жильной составляющей, распространённой по территории, которой подчиняется единому для всего массива структурному плану. С калдырминским комплексом (по А.Н. Лукашову) связывается пояс даек гранит-порфиров, диорит-порфиров, габбро, но его идентификация также достаточно условна.

Формирование массива связывается с конечными этапами герцинского тектонического цикла, на стадии отмирания геосинклинали и перехода ее в эпигерцинскую платформу. Установленная глубина формирования – около 1.5-2,5 км.

Геологическое строение месторождения

С Кентским массивом связаны многочисленные пегматитовые тела, грейзеры, кварцевые и кварц-флюоритовые жилы. Развитие пегматитов и сопутствующих им жильных образований наиболее проявлено вдоль внешнего эндоконтакта пермской интрузии с аляскитовыми гранитами. Общая площадь пегматитового поля около 175 км^2 , число тел – около 400; концентрация тел – на 6 участках, из которых лишь один (Донгол) включает продуктивные пегматиты и жильные образования (рис. 5.).

Площадь пегматитового поля сложена крупно-среднезернистыми гранитами главной фазы пермской интрузии, средне-мелкозернистыми породами "допина", аплитовидными жильными гранитами. Породы эндоконтактной фации (мощность 1-5 м) – мелкозернистые

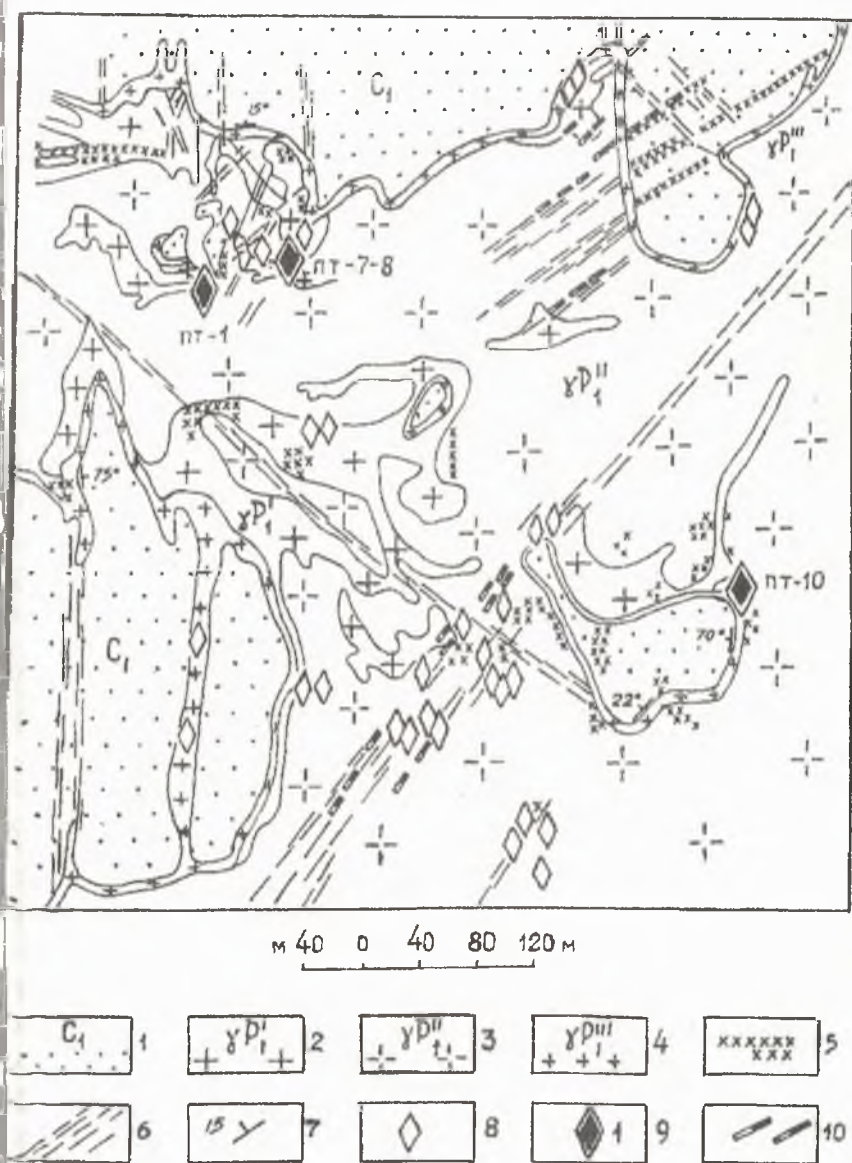


Рис. 5. Геологическая карта участка Донгол
(по Чижику О.Е., 1967г)

1 – нижний карбон. Ороговикованные терригенные отложения.
2 – порфировидные мелкозернистые граниты. 3 – порфировидные среднезернистые граниты. 4 – граниты фации эндоконтакта.
5 – метасоматически измененные породы. 6 – зоны трещиноватости.
7 – элементы залегания пород. 8 – пегматиты существенно-кварцевые и кварц-полевошпатовые. 9 – пегматиты с продуктивной хрусталеносной минерализацией и их номера. 10 – кварц-флюоритовые жилы

в пределах поля пегматитов, грейзенов и жил пьезокварц и плавочное сырье (кварц, флюорит) зафиксированы на 30 объектах, промышленная минерализация – на 7 телах участка Донгол, который и представляет собой собственно месторождение Кент, и на рассмотрении которого сосредоточивается основное внимание.

неравнозернистые граниты, насыщенные миаролловыми пустотами, массой шпировых выделений, участками субграфических разностей, аксессуориями (флюорит, сфен, эпидот, циркон и др.). Структура гранитов главной фазы – порфировидная, часто – резко порфировидная среднезернистая. Перекрывающие поле комплексы – осадочно-вулканогенные породы каркаралинской свиты (диабазы, андезитобазальтовые порфириды, туфовые брекчии, туфы, с пластами конгломератов, песчаников, алевролитов и аргиллитов); гранитоиды ранних комплексов (C_2 и C_3). В экзоконтакте пермских гранитов породы рамы (до 1,5-2,0 км) ороговикованы, биотитизированы, насыщены амфиболом, эпидотом, лейкоксеном.

В их кровле намечаются две крупные (I порядка) купольные структуры со своими осложняющими элементами. По характеру прототектонических элементов интрузива формирование γP происходило в условиях слабых сдвигающих напряжений, с крайне ограниченными смещениями вдоль зон деформаций.

Из 400 выделенных в

Характеристика пегматитов и связанных с ними жильных образований

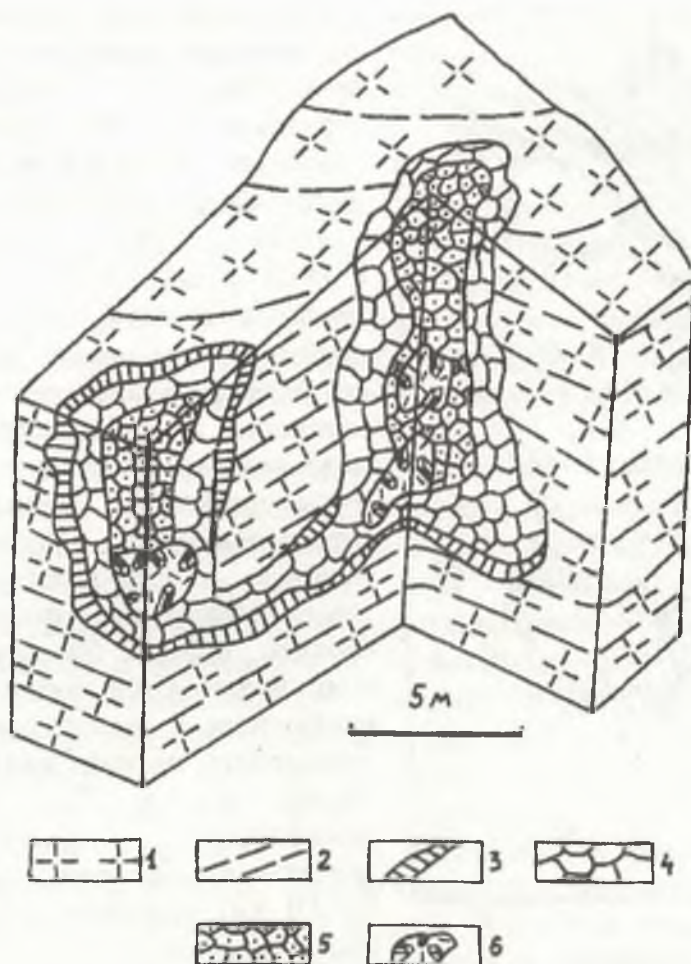


Рис. 6. Месторождение Кент. Блок-диаграмма пегматита №7-8 (трубообразного тела)

1 – среднезернистые граниты. 2 – пластовая отдельность в гранитах. 3 – графическая зона. 4 – полевошпатовая зона. 5 – кварцевое ядро. 6 – хрусталеносная камера

развитием всех зон) и неполнозональные; по степени дифференцированности – полностью дифференцированные (с преобладанием полевошпатовой зоны и кварцевого ядра) и недифференцированные (без полевошпатовой или ядерной зоны).

Хрусталеносные погреба развиваются на контакте кварцевого ядра и подстилающей обрамляющей полевошпатовой зоны, обычно на участках пережима ядра или в подъядерной части. Промышленные тела – с 2-4 погребами и серией сопровождающих мелких гнезд занорышей. Размеры погребов – до 9х6х4 м (до 200-260 м³). В кровле погреба – обычно сводовая отдельность ядерного кварца и гранитов (плитки толщиной 5-8 см); часто кровля обрушена в значительном объеме. Заполнение погребов от рыхлого до плотного, преобладающим развитием кристаллов кварца (до 90% объема) различных размеров разного уровня идиоморфности; обычны друзовые сростки и обрастания кристаллами глинистого кварца. Гнездовое выполнение (наряду с кварцем) – зеленоватые, бурые или фиолетовые глины (характерны для погребов с рыхлой упаковкой), блоки полевого шпата (КПШ и альбит), флюорит (мелкокристаллический в глинах и в виде кристаллов или блоков выделений – в рыхлых участках погребов, чаще – в верхней части этого объема).

На площади Кентского пегматитового поля выделяются пегматитовые тела морфологических типов: 1 – щлиры; 2 – жилы; 3 – пластообразные тела – линзовидные тела; 5 – изометричные пегматиты; 6 – трубообразные тела; 7 – неправильные образования. Продуктивными являются пегматиты линзовидной, изометричной, трубообразной и сложной формы. Средние их размеры по полю – длина 3,8 м; ширина 2,4 м, мощность 2,6 м. Промышленные тела участка Дюго (№№ I-I-бис, 7-8, 6, 10, 13, 20, 1022) характеризуются соответственно средними параметрами 21,6 м; 14,5 м; 13,3 м; развитие на глубину – до 30 м (рис. 6.).

По составу пегматиты являются типичными гранитными образованиями, в которых преобладают кварц (40%) и полевошпат (55-60% объема). Во всех телах в различной степени проявлена зональность, формированием зон: мелкозернистых гранитов, графической, пегматоидной (ортотектитовой), полевошпатовой, кварцево-ядерной и занорышевой (погребной). По типу зональности тела разделены на полнозональные

Кристаллы кварца – короткостолбчатые, бочонковидные, реже – длиннопризматические и обелисковидные, тригонально-призматические размерами до 1 м по L_3 и весом до 200 кг и более; цвет – от водяно-прозрачного и дымчатого до смоляно-черного (морион), разного уровня чистоты и сохранности.

В формировании кристаллов участвует кварц 5 генераций:

1 – непрозрачный дымчатый, серый (магматический), характерный для графической и пегматоидной зон;

2 – непрозрачный – полупрозрачный дымчатый, с сотовой отдельностью (пневматолитовый), обычный для кварцевого ядра, корней и внутренних зон кристаллов;

3 – полупрозрачный – прозрачный, слабо-дымчатый (гидротермальный высокотемпературный), с зернами микроклина, астрофиллита, флюорита и др.; образует наиболее мощные зоны кристаллов и является наиболее продуктивным по выходу пьезооптического и плавочного сырья;

4 – полупрозрачный, реже – прозрачный дымчатый или цитриновый кварц различной густоты окраски (гидротермальный среднетемпературный), с включениями кальцита, фенакита, берилла, флюорита и др.;

5 – бесцветный прозрачный – непрозрачный гребенчатый кварц периферии кристаллов (гидротермальный низкотемпературный), с единичными включениями флюорита, гематита, серицита и др.

Флюорит – второй по практическому значению минерал (объект добычи), проявлен и как аксессуар, и как породообразующий в полостях, с крупными (до 20-40 см) зональными кристаллами. Выделяются четыре генерации флюорита:

1 – зеленый непрозрачный трещиноватый (высокотемпературный), в виде неправильных выделений, реже – октаэдров, с включениями ильменита, монацита;

2 – изумрудно-зеленый, голубой, бесцветный, обычно прозрачный среднетемпературный), в неправильных скоплениях или октаэдрах (до 20 см), с включениями фенакита, берилла, ортита, галенита; основной промышленный тип;

3 – зеленый, фиолетовый, непрозрачный (низкотемпературный), кубооктаэдрические кристаллы (до 4 см) или мелкокристаллические присыпки в глине; часто – сферолиты, шаровидные структуры. С включениями фенакита, гельвина, гематита и др. Наиболее распространенный, но практического значения не имеет;

4 – белый, участками прозрачный (гипергенный), обычно корки колломорфной структуры, мелкие сферолиты.

Постоянные примеси в флюорите – Mg, Si, Al, Fe, Sr, V (до n%).

Второстепенные минералы гнездового выполнения – полевые шпаты (микроклин, дуляр, альбит), рибекит, слюды, ильменит. Редкие выделения – рутил, астрофиллит, циркон, фенакит, берилл, монацит, ксенотим, ортит, эпидот, эгирин, хлорит, гематит, висмутин, ванадинит и др.

Грейзены составляют около 9% известных точек минерализации (в т.ч. накладываются на гематиты). По составу относятся к кварцевым, слюдисто-кварцевым, флюорит-кварцевым, ильбертитовым, гематит-кварцевым разностям. Образуют или крупные пластовые тела (в контакте гранитов и вмещающих пород), или мелкие линзовидные обособления (внутри массива гранитов); иногда – со стяжениями крупнокристаллического шестоватого кварца. В отдельных случаях в них наблюдались гнезда с морионом, раухтопазом, флюоритом низкого качества (под кварцевыми обособлениями).

Кварцевые и кварц-флюоритовые жилы связаны с зонами альбитизации гранитов. Кварцевые жилы сложены темно-серым кварцем с зернами полевого шпата; жилы размерами до 100х3 м. Кварц-флюоритовые тела образованы молочно-белым кварцем плоскостной крустификационной или гребенчатой структуры и слабо фиолетовым –

зеленоватым, реже – бесцветным флюоритом (гнезда или прожилки в кварце). Мощность жил до 1-2 м, зон – до 10-20 м; протяженность зон – до первых км. Тяготеют к дизъюнктивным зонам внутри гранитоидных массивов. Продуктивны (на плавочное сырье) лишь тела с наложенной грейзеновой стадией.

Условия локализации пегматитовых тел

Основная часть пегматитовых тел Кентского поля приурочена к западной (внешней) эндоконтактной зоне интрузива, где сосредоточены главные "узлы" минерализации (в т.ч. промышленно продуктивный участок Донгол). Меньшая часть тел встречена, у восточного (внутреннего) эндоконтакта массива, и лишь единичные точки минерализации наблюдались в его центральной части. Узлы типичных пегматитов локализованы на участках интрузии с лакколитовыми осложнениями в сторону вмещающих пород, на незначительном удалении от подводящего штока, в купольных структурах кровли массивов. Грейзены развиты на выклинивании лакколитов, на периферии куполов.

Пространственно пегматитовые образования тяготеют к гранитам дополнительных интрузий ("допинов"), концентрируясь вдоль ослабленных зон. Конкретное залегание тел обычно в верхней апикали "допина" или над ней, в порфировидных гранитах главной фазы с локализацией на верхнем выклинивании "допина", на участках замыкания апофиз и на морфологических осложнениях (перегибов, раздувов, ответвлений и др.). Наиболее крупные пегматитовые тела продуктивных морфологических типов залегают непосредственно под "крышкой" ороговикованных пород рамы, в том числе промышленно продуктивные – не далее 10 м от неё. При этом последние сконцентрированы под крупным провесом кровли, приподнятом блоке флексурообразного перегиба, где перекрывающие породы представлены интенсивно ороговикованными песчаниками (мелкозернистыми) и алевролитами.

В генетическом плане пегматиты Кентского месторождения рассматриваются как производные (дифференциаты) остаточного расплава дополнительных интрузий пермского этапа внедрения. Благоприятными для их становления структурами явились те, что обеспечили хорошую герметичность системы, необходимую для формирования крупных полнодифференцированных тел ("экранированный тип"). В условиях утечки летучих и дифференциата (по системам трещин контракции, вдоль мелких ксенолитов и т.д.) формировались лишь мелкие рассредоточенные слабодифференцированные тела ("транзитный тип"). Основой зарождения пегматитовых тел служили трещины контракции при последующей разработке пространства за счет расплавления, ассимиляции и перекристаллизации субстрата. Состав остаточного расплава близок, по всем данным, к аляскитовой магме, обогащенной летучими компонентами, образовавшейся при дифференциации первично гомогенной силикатной системы. Это – наиболее ранний магматический этап развития пегматитового процесса, завершившийся образованием основных зон пегматитов (графической, пегматоидной, частично полевошпатового и кварцевого ядра). Установленный его температурный интервал – 650-550°C.

Второй этап процесса пегматитообразования – пневматолитовый, обуславливающий завершение полевошпатовой зоны и кварцевого ядра, начало формирования хрусталеносных полостей. Наиболее интенсивно пневматолитовый процесс развивается в телах "экранированного типа" – при залеченных трещинах контракции увеличивающемся внутриполостном давлении (до 1060 атм., при значении литостатического давления около 650 атм.). Состав растворов на этом этапе (судя по составу водных вытяжек из ядерного кварца) – хлоридно-щелочной и щелочноземельный; состав газовой составляющей H_2 (75-90%), N_2 , инертные газы. За счёт избыточного давления вытесняется часть кварцевого материала, с образованием под ядром относительно свободного объёма с газовой-водной наполнением, с температурным уровнем 550-440°C; вмещающие породы в различной степени

ти грейзенизируются.

С падением температуры заполнение полостей становится существенно водным, с переходом к третьему (гидротермальному) этапу минерализации. Температурный интервал процесса – 440-130⁰С, с неоднократной регенерацией трещин, но без нарушения общей герметичности камеры. Газосодержание падает от 40 до 6%, состав растворов изменяется от целочно-хлоридного до сульфатно-бикарбонатного. За счёт остаточных и подпитывающих камеру поровых растворов происходит интенсивная перекристаллизация пегматитового материала (главным образом кварца, полевого шпата, флюорита), с выносом части его за счёт диффузии из всего околокамерного пространства (включая вмещающие граниты). В последнем случае в зонах пегматита и гранитах наблюдается интенсивная десиликация и альбитизация, частично также собирательная перекристаллизация. Именно в гидротермальный этап (главным образом на высоко-и среднетемпературных стадиях) образуется кондиционный кварц, на среднетемпературной стадии – флюорит, хотя в основном он связан с наложением на жильные тела гидротермальных потоков из зон тектонических дислокаций.

Практическая оценка месторождения

Освоение Кентского месторождения осуществлялось с 1960 по 1968г, в течение которых оно в основном было разведано, а продуктивные тела отработаны. Общие выявленные (на сегодняшний день – отработанные) запасы месторождения позволяют отнести его к мелким – средним по масштабам комплексным объектам – источникам пьезокварца, горного хрусталя для плавки и флюорита для плавки (таблица 3.7.). В качестве опутного компонента добывался горный хрусталь (включая раухтопаз, цитрин, морион) для гранки (1002 кг). На одном из отработанных пегматитовых тел (№ 13) был получен оптический флюорит, но в очень ограниченном количестве (2,5 кг). Основные комплексные объекты – пегматитовые тела № 1-1 бис, № 7-8, с которых получено более 90% пьезокварца и около 50% кварца для плавки. Тела № 6, 10 и 13 – существенно плавочные (кварц-флюоритовые) объекты, с ограниченными масштабами пьезокварцевой минерализации.

Таблица 3.7.

Результаты отработки продуктивных пегматитов
Кентского месторождения (уч. Донгол)

Минерализованные тела	Кварцевое сырье			Флюоритовое сырье, кг	
	Всего кристаллосырья, т	Пьезокварц, кг	Горный хрусталь для плавки, кг	Оптический флюорит	Флюорит для плавки
пегматит № 1	140	96,6	12139	-	38
пегматит № 1-бис	70	23,9	6364	-	-
пегматит № 6	40	7,2	3986	-	5250
пегматит № 7-8	350	945,6	35915	-	63
пегматит № 10	250	95,3	30506	-	-
пегматит № 13	120	0,8	11392	2,5	4194
пегматит № 20	7	3,4	742	-	4
пегматит № 1022	5	1,0	278	-	-
другие тела	12	7,9	10416	-	72
Всего по месторождению	987	1182	110740	2,5	9620

По выходу полезных компонентов из кварцевого кристаллосырья месторождения относится к рядовым промышленным объектам – выход пьезокварца 0,12%, кварца для плавки – 11,2%. Однако для пьезокварца характерно преобладание высоких сортов "экстра", уникальный и I сорт составили 83% от всего количества полученных монокристаллов при выходе "маломерки" и III сорта – на уровне 7%. Плавочное кварцевое сырьё в основном соответствовало II сорту (70,3%) и, скорее всего, не удовлетворяет требованиям сегодняшних ТУ по содержанию химических примесей (по опыту эксплуатации волынских пегматитов). Хотя для однозначной оценки этого параметра корректные данные отсутствуют (анализов, соответствующих современному уровню, по сырью месторождения не проводилось). Флюорит для плавки по качеству отвечает в основном рядовому сырью.

Уровень развития продуктивной минерализации на отработанных телах месторождения достаточно высок – выход сырья на горную массу составляет 30 г минерала/м³ по пьезокварцу, 4,2 кг/м³ по горному хрусталу для плавки, 0,14 кг/м³ по флюориту для плавки (табл. 3.8). Это обусловило высокий уровень рентабельности эксплуатационных работ на месторождении (около 160%). Однако с учетом стоимости выполненных геологоразведочных работ даже установленный высокий уровень минерализации не обеспечивает перекрытия дохода от реализованного сырья над общими затратами (затраты на 1 руб. товарной продукции составили 1,88 руб.). В целом освоение месторождения оказалось нерентабельным в системе цен 1960-66 годов.

Таблица 3.8.

Содержание полезных компонентов в продуктивных пегматитах
Кентского месторождения (уч. Донгол)

Минерализованные тела	Содержание на горную массу (кг/м ³)			Содержание на продуктивную массу (кг/м ³)		
	Пьезо- кварц	Горный хрусталь для плавки	Флюорит для плавки	Пьезо- кварц	Горный хрусталь для плавки	Флюорит для плавки
Пегматит № 1	0,029	3,64	0,011	0,110	13,3	0,042
Пегматит № 6	-	-	-	0,029	16,1	21,2
Пегматит № 7-8	0,055	2,10	0,004	0,540	20,5	0,036
Пегматит № 10	0,034	9,63	-	0,319	89,1	-
Пегматит № 13	0,0001	1,47	0,54	0,0006	8,46	3,1
Среднее	0,03	4,21	0,14	0,200	29,5	4,9

Неиспользованным резервом месторождения, достаточно интересным в современных условиях, является коллекционный и поделочный материал, складированный в продуктивных отвалах: друзовые образования кварца и полевого шпата, кристаллический флюорит, графические разности пегматитовой породы и др.

4. ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПНЕВМАТОЛИТ-ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО КЛАССА

Класс пневматолит-гидротермальных месторождений горного хрусталя представлен образованиями кварцево-апокарновой формации, хрусталесодержащими кварц-мусковитовыми грейзенами и RM-кварцевыми жилами [34, 35].

Хрусталеносные апокарновые месторождения и проявления в России известны только на Дальнем Востоке – в Кет-Капском (Гонамо-Учурском) районе (Дальнее, Кет-Кап, Удача) и в границах Омолонского района (Скарновое, Ольдяни). За пределами России они известны также в Северо-Западном Тянь-Шане (Майдантал и др.), в Китае (Янзюолин) и др. Реальными продуктивными объектами этого типа являются частично отработанное месторождение Дальнее и отработанное месторождение Кет-Кап. В этой связи в качестве эталонного объекта нами рассматривается наиболее крупный из апокарновых объектов России – месторождение Дальнее.

Хрусталесодержащие грейзены известны на Дальнем Востоке (Грейзен, Цирковое в Верхне-Буреинском районе, Грядинское в Магаданской области) и в Казахстане (Калмык-Кырган). Из них наиболее крупным и изученным является последнее проявление, которое и рассматривается в качестве типового объекта.

Хрусталесодержащие рудно-кварцевые жилы известны во многих районах, но наиболее проявлены в Монголо-Охотской и Охотско-Колымской провинциях, где представлены Au-кварцевыми, W-кварцевыми, Sn-кварцевыми, Mo-кварцевыми и другими типами жил. К наиболее известным из них относятся проявления Олгинское, Самыр, Иультин, Депутатское, а также Намавара (в Карело-Кольском регионе), Перкаткун (на о. Врангеля). Масштабы хрусталеносной минерализации, близкие к промышленным, установлены на Олгинском месторождении Верхне-Буреинского района, которое представлено в настоящей работе в качестве типового объекта рудно-кварцевых (RM-кварцевых) хрусталесодержащих формаций.

4.1. Месторождение Дальнее (апокарновый тип)

Месторождение Дальнее (типовой объект хрусталеносной апокарново-кварцевой формации) расположено на границе Якутии и Аяно-Майского района Хабаровского края, в верховьях р. Чюльбе (правый приток р. Учур).

Месторождение выявлено в 1937г (Б.П. Кулеш, Т.И. Пятницкая), разведочные и поисковые работы, а также попутная эксплуатация проводились с 1958 по 1962 годы, в основном силами Дальневосточной экспедиции 6 ГУ. Наиболее существенный вклад в освоение месторождения и района в целом внесли В.Г. Басихин, Е.С. Мейтов, Е.К. Маханек, В.М. Андреев, Б.В. Балашов и др. Ревизионные работы и дополнительные поисковые работы на месторождении и на некоторых других объектах района проводились экспедицией "Далькварцсамоцветы" в 1985г. (П.В. Зайцев и др.). Тематические исследования, с переоценкой ресурсов, выполнялись сотрудниками ВНИИСИМС в 1986г. (Ю.А. Шатнов, И.В. Коваленко и др.).

По результатам поисково-оценочных, разведочных и частично – эксплуатационных работ 1958-1962 гг. месторождение Дальнее выделилось как мелкий по масштабам объект с общими запасами пьезокварца на уровне 990 кг и горного хрусталя для плавки – порядка 10 т (сырье условно пригодно для получения прозрачного кварцевого стекла).

Другие объекты формации (месторождение Кет-Кап, проявления Скарновое, Ольдяни, Удача) – меньшие по масштабам минерализации и менее изученные на современном уровне.

Геологическое строение Кет-Капского хрусталеносного района

Месторождение Дальнее является наиболее крупным хрусталеносным объектом Кет-Капского узла (или района). В таксономическом плане район входит в Гонамо-Учурский хрусталеносный пояс, где известно еще несколько хрусталеносных узлов с близкими типами продуктивной минерализации – Берияканский, Юнско-Даньский, Никийский, Одолинский, Томтоканский. Пояс в целом приурочен к восточной окраине Алданского щита, где интенсивно дислоцированный архейский фундамент платформы перекрыт чехлом субгоризонтально залегающих отложений верхнего протерозоя – кембрия. Кет-Капский узел приурочен к субширотному Аимо-Кет-Капскому сводообразному поднятию, сформировавшемуся в ходе тектономагматической активизации южного обрамления Сибирской платформы в мезозойское время. Исследователи района (Басихин В.Т., Маханов Е.К., 1960г., Осипов В.В., 1988г.) связывают оформление этого свода с механическим воздействием на платформенный чехол интрузий, внедрившихся вдоль субширотного Кет-Капского глубинного разлома, и с сопровождавшей внедрение активизацией тектонических движений. В границах свода выделены две крупные (до 20 км в поперечнике) куполовидные структуры – Метропольская (на западе) и Улаханская (в восточной его части), в свою очередь осложненные серией складок и флексур (размерами до 1-2 км). Разрывные нарушения узла в большинстве случаев имеют отчетливую пространственную связь с пликативными структурами (либо субсогласные с ними, либо – резко секущие). Обычно это крутопадающие сбросы с амплитудой перемещений 40-60 м, сопровождающиеся зонами катаклаза, брекчирования, гидротермальной проработки пород.

Верхнепротерозойские отложения, слагающие основную часть площади узла, включают две свиты – омахтинскую и эннинскую. Омахтинская свита (PR_{3om}) представлена карбонатными породами с подчиненными пластами терригенно-карбонатных и терригенных пород – доломитовыми известняками, песчаниками с известковистым цементом, кварцитовыми песчаниками. Эннинская свита (PR_{3en}) сложена грубозернистыми кварцевыми и олигомиктовыми песчаниками с прослоями гравелитов и конгломератов, кварц-биотитовыми сланцев и алевролитов (рис. 7.). Кембрийские отложения имеют наибольшее распространение на площади проявления Кет-Кап и в районе проявления "Последнее". Они представлены известняками юдомской свиты (Є_{1jd}) с прослоями кварцевых песчаников.

Интрузивные образования относятся к двум возрастным группам. Первая включает верхнеюрские многоярусные пластовые интрузии порфировых пород – Метропольскую и Онньенскую (диорит-и сиенит-порфиры). Сложные по своим очертаниям, они достигают 20 км в поперечнике, при мощности до 350 м. Метропольская интрузия занимает центральную и восточную части одноименного поднятия, Онньенская – центр Улаханского свода. По периферии эти интрузии дробятся на множество маломощных апофиз, с образованием субсогласного переслаивания силлов и осадочных пластов. Вторая группа интрузии прорывает пластовые тела. Она включает лакколитоподобные Саарбалахский и Чайдахский диорит-сиенитовые массивы (Метропольское поднятие), вытянутый Улаханский массив (с серией мелких тел вдоль Онньенской зоны разрывов). Возраст интрузий – верхнеюрский-нижнемеловой, преобладающий состав – пироксеновые и роговообманковые пироксеновые сиениты, сиенит-диориты, реже диориты. Типичные интрузивные образования сопровождаются или дополняются вулканогенными породами – плагиопорфиритами, роговообманковыми порфиритами, дацитовыми и кварцевыми порфирами. Развитие вулканитов максимально в слоистых терригенных толщах (средняя часть разреза омахтинской свиты).

Дайковый комплекс представлен маломощными (до 0,5м) жилами аплитов, гранофилов, сиенит-порфиров, реже – лампрофилов, щелочных сиенитов. В целом магматические породы района относятся к гипабиссальным образованиям ($h \leq 200-1000$ м), субщелочного типа, являющимся производными гранит-граносиенитовой формации.

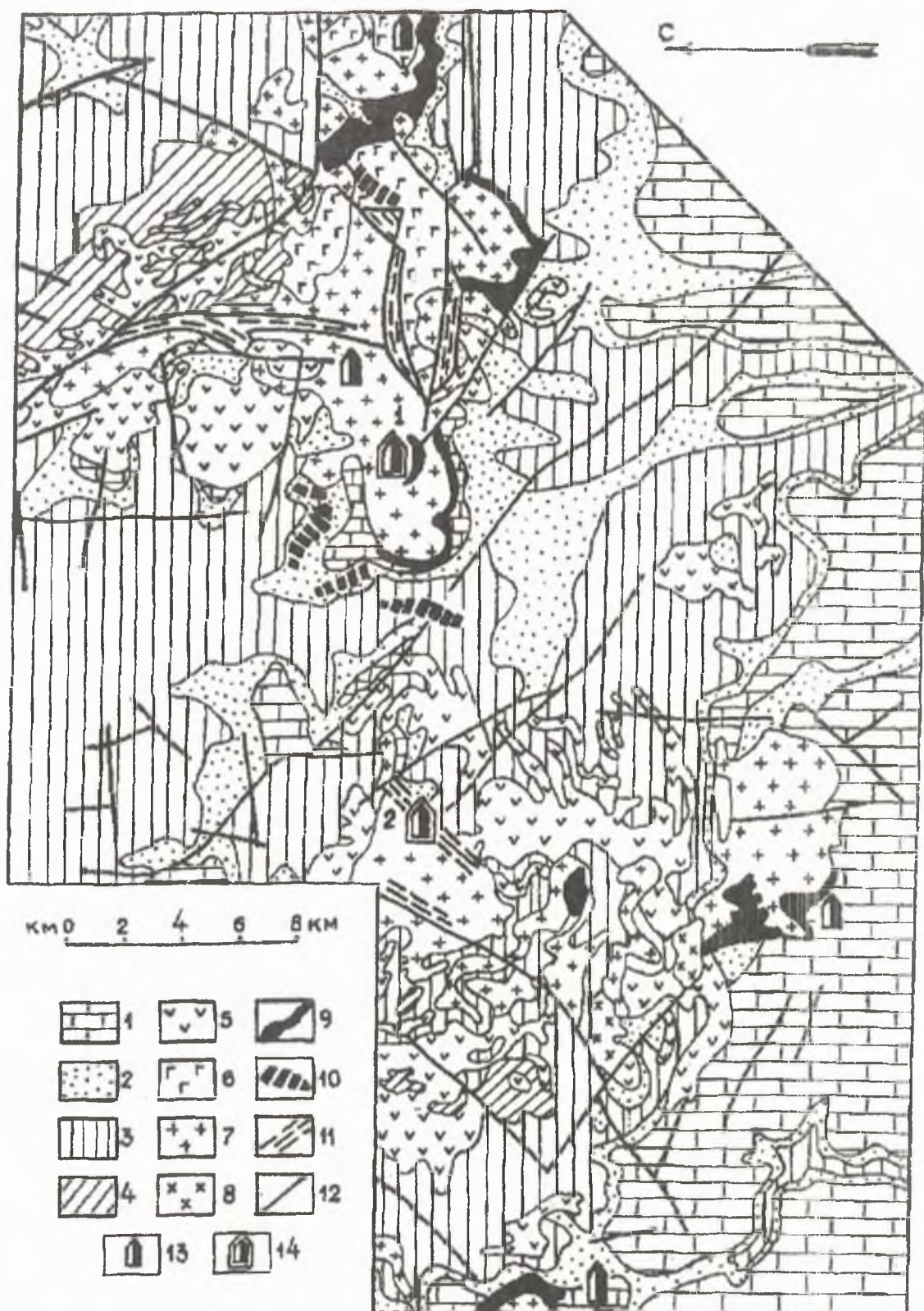


Рис. 7. Геологическая карта Кет-Капского хрусталеносного узла
(составлена по материалам В.В. Осипова, 1988г.)

— карбонатные породы (С). 2-4 — верхний протерозой: 2 — песчаники, конгломераты, алевролиты эннинской иты, 3 — доломиты и песчаники омахтинской свиты, 4 — песчаники, мергели, конгломераты гонамской свиты. 3 — мезозойский магматический комплекс: 5 — дациты и плагио-порфириты; 6 — андезиты, базальты, рфриты; 7 — щелочно-земельные сиениты; 8 — диориты. 9 — мраморизованные породы. 10 — окварцевание. — катаклазиты, брекчии, милониты. 12 — разломы. 13 — проявления горного хрусталя. 14 — месторождения рного хрусталя: Кет-Кап (1), Дальнее (2)

Породы Кет-Капского узла претерпели многократные изменения – региональный контактовый метаморфизм, гидротермально-метасоматические преобразования. Осадочные породы PR подверглись низкотемпературному региональному метаморфизму, что выразилось в образовании кварцито-песчаников, кварцитов, перекристаллизации песчаников и известняков. Значительные превращения вмещающих пород вызваны внедрением сиенитовых интрузий, ореол контактовых изменений которых прослеживается на 0,5-1 км от массивов. Наиболее интенсивно изменены известняки – кальцитовые разности мраморизованы, доломитовые – скарнированы. Собственно скарны имеют незначительное распространение (в ксенолитах кровли массивов в районе месторождения Кет-Кап, реже непосредственно на контакте интрузивов). Состав скарнов – гранат-диопсидовый, с примесью зеленой шпинели, эпидот-гранат-геденбергитовый, флогопит-диопсидовый. Скарнированные породы – с развитием в известковистых разностях наложенного диопсид-эпидота, граната и карбоната; обычно ороговикование известковистых песчаников, биотитизация полимиктовых и кварцевых песчаников. Юрские вулканы в экзоконтакте массивов также несут признаки скарнирования (эпидотизация, биотитизация, появление граната, везувиана и скаполита). Обычны зоны пиритизации. Широко проявлены процессы тремолитизации, наложенные на скарнированные и ороговикованные породы.

Описанные изменения предшествовали формированию кварцево-жильных образований, и по месту в процессах минералообразования относятся к дорудному этапу завершающемуся образованием зон брекчирования и субширотной трещиноватости (Шатнов Ю.А., Коваленко И.В. и др., 1988г.).

Рудный этап минерогенеза подразделяется на предрудную (жильную) и рудную (хрусталеносную) стадии; отмечается также пострудная минерализация. Предрудная стадия проявилась в окварцевании и калишпатизации вмещающих пород в зонах брекчирования, трещиноватости и выделении основной массы жильного (раннего) кварца. Окварцевание вулкаников начинается с развития прожилкового мелкозернистого кварца, затем следует образование порфириобласт. Калишпатизация проявляется в развитии ромбовидных "вкрапленников" микроклина (частично – новообразований анатита, циркона, пироклаза). При завершенности метасоматического процесса формируются микроклин-кварцевые метасоматиты или "вторичные кварциты"; процесс завершается выделением основной массы жильного кварца.

Вторая (хрусталеносная) стадия характеризуется сменой калиевых парагенезисов натрий-калиевыми. На сформировавшиеся ранее метасоматиты (по более узкому фронту) накладываются альбит, *Na*-актинолит, глаукофан, гематит, *Fe*-эпидот и розетковидный мусковит. Характерна перекристаллизация "вторичных кварцитов" с образованием друзовидных выделений кварца. Макроскопически продукты изменений этой стадии достаточно резко выделяются по светло-серому или белому цвету измененной породы. Намечается определенная зональность поздних метасоматитов – глубокие горизонты обогащены титанистым *Na*-амфиболом. Собственно хрусталеобразование сопровождается серицитизацией полевых шпатов, выделением розетковидного мусковита, формированием рыхлого окологнездового материала. Наиболее интенсивные изменения характерны для продуктивных жильных зон (типа зоны № 1 месторождения Дальнее).

Характеристика хрусталеносной кварцево-жильной минерализации

В границах Кет-Капского узла выделен ряд хрустале- и кварцепроявлений. Месторождение Дальнее, проявление (месторождение?) Кет-Кап, Веселое, Меандровое. Эталонным объектом является месторождение Дальнее, известное с конца 30-х годов (рис.8.).

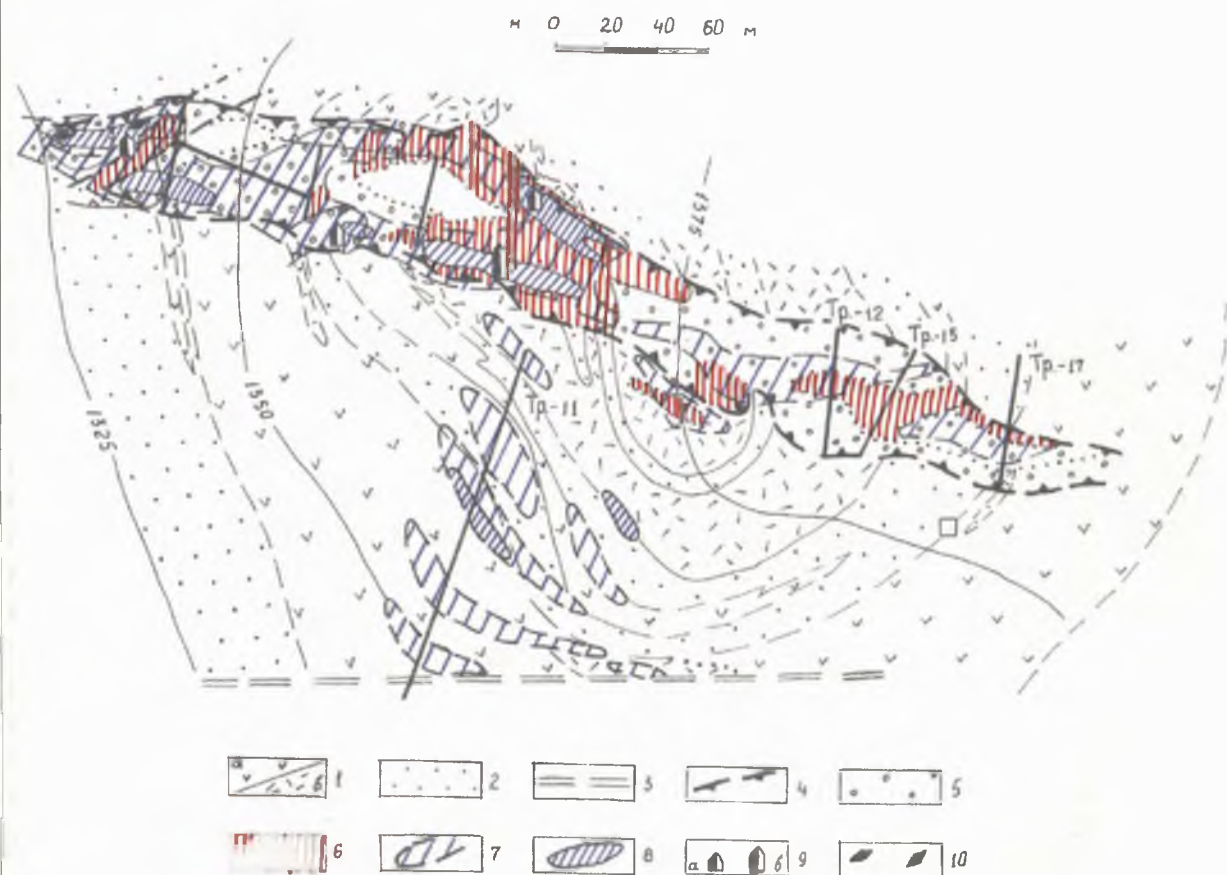


Рис. 8. Геологический план месторождения Дальнее (по Ю.А. Шатнову, 1986г.)

— пластовые тела: а) порфириров, б) дацитов. 2 — кварциты, песчаники (докембрий, омахтинская свита).
 — разрывные нарушения. 4 — контуры зон брекчирования. 5 — зоны «окварцевания» и «микроклинизации».
 — зоны «осветления» (серицитизация, альбитизация и др.). 7 — зоны кварцевого мелкопрожилкования ($K_{\text{кв}} < 20\%$). 8 — зоны кварцевых жил ($K_{\text{кв}} > 20\%$). 9 — Хрусталеносные участки: а) с единичными гнездами, б) с зонами гнезд-погребов. 10 — карбонатизация

В контурах месторождения и на прилегающей площади выделен ряд жильных зон №№ 1, 2, 3, 4, "Промежуточная") и отдельные точки минерализации. Основным объектом и геологическим, и в практическом плане является жильная зона №1. Морфологически это сложная штокеркообразная зона (II геолого-промышленный тип по классификации 1985г.), приуроченная к зоне дробления и брекчирования в экзоконтактовом обрамлении марбалаахского сиенитового массива (Шатнов Ю.А., Коваленко И.В. и др., 1988г.). Протяженность зоны — порядка 450 м, мощность — 30-60 м, вертикальный размах более 100 м. Внутреннее строение зоны сложное, неоднородное. Выделяются блоки относительно слабо деформированных порфириров (до 50-60 м протяженностью), дислоцированные блоки кварцитовидных и известковистых песчаников (до 60x15 м) и зоны разноглыбовой брекчии этих пород. Основной объем зоны №1 насыщен прожилковыми выделениями кварца мощностью до 0,3-0,5 м, неправильной или линзовидной формы с общим $K_{\text{кв}}$ на уровне 10%. Обособленно, в виде разобщенных тел длиной 10-30 м и мощностью 2-3 м, выделяется брекчия измененных песчаников-порфириров, сцементированная жильным кварцем. Локально (в центре и на западном фланге) проявлены жильные тела неправильно-штокообразной и линзовидной формы до 2-3 м мощностью (в блоках кварцитовидных песчаников). Общая кварценоность зоны в этих участках достигает 25-30%. Для жильных зон № 3 и "Промежуточной" характерен прожилковый тип минерализации ($K_{\text{кв}} = 1-5\%$). Прожилки и крупные жильные тела имеют четкие контуры, характерные для тел простого заполнения трещин (рис. 8.).

Основную массу жильной минерализации и в крупных телах, и в прожилках составляет светло-серый или белый крупнозернистый кварц, массивной, шестовой или друзовидной текстуры ("ранний кварц"). Структура его – полигональная, контуры зёрен – ровные или извилистые или ступенчатые; деформированность зёрен слабая. Кварц характеризуется низкой прозрачностью из-за насыщенности ГЖВ (светопропускание T от 6 до 27%). Повышены содержания Al ($\approx 10^{-2}\%$), Mg (до $\approx 10^{-2}\%$), K (до $7 \cdot 10^{-3}\%$), Fe (до $3 \cdot 10^{-3}\%$).

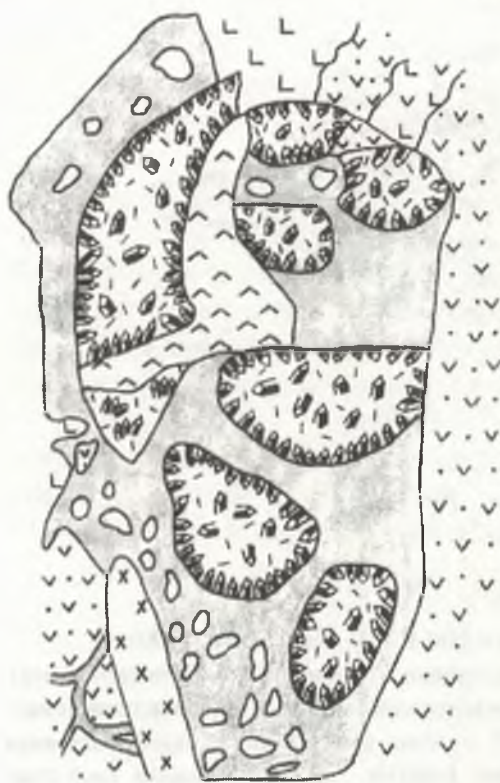


Рис. 9. Строение многокамерной полостной системы

(месторождение Дальнее, план карьера №1)

- 1 – роговообманковые порфириты. 2 – порфириты роговообманковые, слабо осветленные. 3 – порфириты роговообманковые сильно измененные и окварцованные.
- 4 – вторичные кварциты по песчаникам и порфиритам.
- 5 – диориты. 6 – шестоватый жильный кварц. 7 – брекчия с кварцевым цементом. 8 – хрусталеносные полости

представляют многокамерные полостные зоны (в центральной части жильной зоны № I). Размеры в плане – до $10 \times 6,5$ м, в разрезе – до 3,5 м; они включают до 5-6 камер объемом 10-30 m^3 с четко выраженными контурами. Форма полостей – изометричная или линзовидная. Часты занорыши до ≈ 10 см в поперечнике, приуроченные к центральным частям жил или участкам пересечения прожилков. Гнездовое выполнение – дресва позднего кварца, кристаллы горного хрусталя и рыхлая глинистая масса. Глинистое заполнение состоит из кварцевого материала, плагиоклаза, монтмориллонита, щелочного амфибола, серицита, галлуазита, гидроокислов Fe , с повышенным содержанием Mn, Na, Mg, K и Ti .

Кристаллы кварца дымчатые, с различной густотой окраски, длинно-среднепризматические, реже – обелисковидные, уплощенные. Средний размер кристаллов 12-13 см по L_3 , 4-5 см по L_2 , отдельные индивиды до 45 см по L_3 . Огранка кристаллов

Меньшим развитием пользуется друзовый или шестоватый кварц дымчатой окраски и высокой прозрачности ($T_{ср} = 65\%$), выделяемый как поздний или перекристаллизованный. Структура кварца – разномасштабная; деформационные структуры практически не проявлены. По химическому составу кварц близок к вышеописанному: содержание Al в среднем до $1,6 \cdot 10^{-2}\%$, K – до $4 \cdot 10^{-3}\%$, относительно повышено содержание Mg (до $5 \cdot 10^{-3}\%$) и Ca (до $4 \cdot 10^{-3}\%$). Поздний кварц слагает или отдельные обособленные прожилки, или участки жильных тел (в том числе центральные зоны).

Для раннего кварца характерны рассеянные зерна КППШ ($C_{ср} = 1,05 \cdot 10^{-4}\%$), гидроокислы Fe (до $4 \cdot 10^{-4}\%$), единичные включения барита, рутила, апатита, пирита. Для позднего кварца обычны полевые шпаты (КППШ – до $6,2 \cdot 10^{-4}\%$), плагиоклаз – до $2,7 \cdot 10^{-4}\%$, пирит, волосовидный амфибол, реже – серицит, хлорит, эпидот, рутил. В позднем кварце по сравнению с ранним, повышено содержание Zr , присутствует W, Sn, Li, Ba .

Хрусталеносная минерализация локализована в полостных образованиях (занорыши, гнезда, погреба), обычных для хрусталеносных кварцевых жил (рис. 9).

Основной практический интерес

простая – комбинации граней призмы и обоих ромбоэдров. Обычные дефекты кристаллосырья – двойникование, замутненность ГЖВ (в корневых частях по залеченным трещинам). Характерны интра-и постминерализационные деформации кристаллов: дробление, изогнутость – коленчатость индивидов, развитие зон травления, трещиноватость. Твердые включения представлены чешуйчатым серицитом, зернами плагиоклаза, игольчатыми и волокнистыми выделениями рутила и актинолита. В основании кристаллов – единичные включения пирита, редко – галенита, эпидота. По продольной оси кристаллов достаточно часто наблюдаются своеобразные "свечи" или "оси" ватообразного материала тонковолокнистый тремолит, реже – рутил, с микрозернами кальцита).

Различный уровень зараженности минеральными примесями обуславливает различия в химическом составе кристаллов (табл. 4.1.). Для чистых разностей характерно относительно невысокое содержание элементов-примесей, за исключением *Al* (до $8,9 \cdot 10^{-3}\%$) и *Ca* ($n \cdot 10^{-3}\%$). В кристаллах со "свечами" резко возрастает содержание и названных элементов, и элементов других групп (*Mg*, *Fe*, *Na* – до $1 \cdot 10^{-1}\%$). Выход пьезокварца из кристаллосырья – около 3%, выход сырья для плавки – 30-40% (из-за пораженности ГЖВ), при этом плавочное сырьё может соответствовать только III сорту из-за повышенных содержаний элементов-примесей (*Al*, *Ca* и др.).

Таблица 4.1.

Содержание ЭП в горном хрустале месторождения Дальнее

Тип кристаллов	Содержание элементов-примесей, $n \cdot 10^{-3}\%$ (среднее)										
	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Ti	Ni	Cr	Na	K	Li
Прозрачные кристаллы	6,8	2,0	0,6	0,02	1,0	<0,3	<0,3	<1,0	1,5	1,1	0,7
Кристаллы со "свечами"	>500	100	>100	4,0	100	7,5	-	-	60	-	-

Хрусталеносная минерализация проявляет тесную связь с зонами развития позднего кварца и наиболее поздних изменений вмещающих пород (низкотемпературный гидротермально-метасоматический комплекс рудного этапа), прослеживающимися на глубину не более чем на 40 м. Основная продуктивная часть зоны № 1 характеризуется развитием друзового и шестоватого позднего кварца, максимальной перекристаллизацией "торичных кварцитов" и интенсивным "осветлением" блоков порфиритов. При этом многокамерные полости развиваются в блоках брекчии "кварцитового" состава, с развитием камер как за счет переработки жильного кварца, так и этих "кварцитов". Более консолидированные блоки и "пласты" порфиритов выполняют экранирующую роль и содержат только прожилковые кварцевые тела с мелкими занорышами. В хрусталеносных участках сформированы, фактически, "рудные столбы", концентрирующие до 95% всего кристаллосырья, в том числе почти всё сырьё повышенного качества, с четким литологическим (брекчированные песчаники, кварцитовидные и известковистые) и гидротермально-метасоматическим (ореолы позднейших изменений) контролем. С зонами бедрудного – раннего рудного этапов минерализации (окварцевание, микроклинизация) связаны, как правило, только полости занорышевого типа.

Особенности минерализации месторождения Дальнее во многом повторяются на проявлении (месторождении) Кет-Кап. Оно приурочено к кровле Улаханского сиенитового массива, локализуясь непосредственно в скарнах, развитых за счет останцов известняков оломской серии. Последние преобразованы в диопсид-гранатовые скарны (тела от 10х20 до

1200x200 м), нарушенные крупными зонами брекчирования. В скарнах отмечается развитие сульфидной минерализации (халькопирит). В брекчии выделяются участки выщелачивания и наложенными кварцево-хрусталеносными полостями. При этом жильный кварц составляет обрамление ("кайма") хрусталеносных полостей.

Практическая оценка месторождения

По общим масштабам хрусталеносной минерализации месторождение является мелким-средним пьезокварцевым объектом (добыто 218,2 кг мнбл; подсчитанные, но не числящиеся на балансе запасы – 756 кг мнбл, оцененные ресурсы категории P_2 – 500 кг мнбл). По горнотехническим условиям месторождение достаточно удобно для отработки открытым, и подземным способом. Однако из-за географического положения объекта относится (Шатнов Ю. А., Коваленко И. В. и др., 1988г.) лишь к условно-перспективным, вопрос о его реальном освоении в ближайшие десятилетия вряд ли будет ставиться. Горный хрусталь месторождения как плавочное сырьё в лучшем случае соответствует низшему, малому дефицитному III сорту, что также не способствует его освоению в ближайшем будущем.

Сортность добываемого ранее на месторождении сырья сравнительно невысокая: высший сорт около 15,7%; I – 36,0%; II – 21%; III – 1,3%; более 25% сырья отнесено (данные 1962 года) к сорту "маломерка" (табл. 4.2.).

Таблица 4.2

Сортность пьезооптического сырья месторождения Дальнее
(по результатам добычи 1958-61 гг.)

Всего добыто сырья (кг)	в том числе по сортам (кг)					
	Экстра	Уникальный (высший)	I	II	III	Маломерка
218,2	0,3	32,0	77,8	45,9	2,9	59,3
100%	0,11%	15,60 %	36,00 %	21,04%	1,30 %	25,07 %

Общие перспективы района могут рассматриваться как достаточно высокие (на геологическом плане). В частности, в пределах Берияканского узла выделено проявление Удача, по своему типу и масштабам хрусталеносной минерализации близкое месторождению Дальнее (обоснованные результатами опробования прогнозные ресурсы около 500 кг мнбл. пьезокварца и 100 т горного хрусталя для плавки). При ограниченных объемах планомерных специализированных поисков на большей части хрусталеносных площадей, реальные перспективы района могут быть существенно расширены.

4.2. Месторождение Калмык-Кырган (грейзеновый тип)

Месторождение горного хрусталя Калмык-Кырган расположено в Республике Казахстан (Павлодарская обл., Майский район), в 280 км южнее г. Павлодар и в 75 км восточное пос. Баян-Аул.

Специализированные работы на горный хрусталь в районе месторождения начались в 1957г., и конкретно на Калмык-Кырганском массиве – в 1962г. (Гольцев Е. Е., Соловьев Г. С. и др.), хотя первые результаты этих работ (в основном – уровня общих поисков) в отношении и пьезокварца, и плавочного сырья были отрицательные. Реальные проявления горного хрусталя были выявлены в 1964 г. В. Л. Шахвелишвили (ЦКГУ). Их оценка, с

использованием горных выработок и буровых скважин, проводилась в 1965г. экспедицией № 111 (Самородов П.В., Кокшаров В.А. и др.). Основной вывод – концентрации горного хрусталя соответствуют уровню промышленно-хрусталеносных объектов, но отработка его при существующей схеме переработки сырья (ручное обогащение) не может быть рентабельной.

С ориентировкой на совершенствование схемы обогащения плавочного сырья в 1984-85гг. были проведены поисково-оценочные работы (Гекман Э.Я., Куряев И.А. и др.), с валовым опробованием продуктивной части месторождения и использованием механического обогащения сырья (галтовка). В результате работ месторождение оценено как средний по масштабам минерализации промышленно-хрусталеносный объект: запасы горного хрусталя для плавки категории C_2 – 160,6 т; ресурсы категории P_1 – 302,6 т. Ставились, в то же время, серьезные вопросы о целесообразности освоения объекта в связи с низким качеством сырья (повышенные содержания Al , Na , Li). Тем не менее объект рассматривается как единственное в бывшем СССР месторождение горного хрусталя, связанное с проявлением типичной гидротермально-грейзеновой минерализации (типовой объект хрусталесодержащей кварцево-грейзеновой формации).

Геологическое строение района месторождения

Месторождение Калмык-Кырган локализовано в одноименном гранитном массиве, расположенном на северо-западном окончании Чингиз-Тарбагатайской структурно-фациальной зоны (Гекман Э.Я., Куряев И.А., 1986г.). Массив приурочен к северо-восточному крылу Алкамерген-Джеландинского антиклинория. И зона в целом, и антиклинорная структура осложнены серией разрывных дислокаций Тарбагатай-Чингизской зоны разломов глубинного заложения. Массив Калмык-Кырган относится к Монастырскому интрузивному комплексу пермских гранитоидов. В плане он имеет овальную, вытянутую на СЗ форму. Восточный – юго-восточный контакт интрузива – пологий ($10-15^\circ$), извилистый, с интенсивно проявленным ороговикованием пород рамы (ширина зоны до 500 м). Западный контакт – более крутого залегания (падение около 20°). Кровля массива осложнена, сохранились останцы перекрывающих осадочно-метаморфических пород и скарнированных известняков. Общая форма массива – лакколитообразная. Предполагаемая глубина его формирования – 0,5-2,0 км.

В составе интрузива выделяются; а) граниты главной интрузивной фазы ($\gamma^I P$) – крупно-и среднезернистые, порфиоровидные, биотитовые; б) граниты фазы дополнительной интрузии ($\gamma^{II} P$) – мелкозернистые, редко – порфиоровидные, лейкократовые и биотитсодержащие; в) породы дайковой и жильной серий – мелкозернистые биотитовые граниты и аплиты, гранит-порфиры, диорит-порфириты, пегматиты и грейзены; самые поздние дериваты – кварцевые жилы. Последние относятся к двум комплексам – высокотемпературным и среднетемпературным образованиям, из которых часть является хрусталеносными.

Обрамление массива в С-З и 3 части представлено породами верхней подсвиты майданской свиты (E_{2md}). Это полимиктовые песчаники, пироксен-плаггиоклазовые порфириты с горизонтом переслаивающихся песчаников и алевролитов, наклонно залегающие (nd В-СВ $42-50^\circ$). На породах майданской свиты с угловым несогласием залегают отложения "сасыксорской" свиты (E_{2ss}), представленные флишовой толщей (чередование песчаников, алевролитов с прослоями гравелитов и конгломератов). С востока и северо-востока массив контактирует с полимиктовыми песчаниками, перекрываемыми андезитовыми порфиритами и их туфами (последние в зонах экзоконтакта превращены в микрокварциты).

Геологическое строение месторождения

В целом в пределах гранитного массива кварцево-жильная минерализация проявляется в контурах приконтактной полосы шириной до 1 км. Высокотемпературные жильные образования сконцентрированы в пределах "Северного" и "Южного" участков, в породах эндоконтакта интрузива, они нехрусталеносны и практического значения не имеют. Жильные образования хрусталеносного типа (условно – "среднетемпературные кварцевые жилы") локализованы в основном около штоков дополнительной интрузии, вблизи провесов кровли западной приконтактной части массива. Они выполняют разноориентированные трещины в зонах интенсивных изменений гранитов (грейзенизация, серицитизация, частично – аргиллизация) с образованием специфичных хрусталеносных штокверков (рис. 10.).

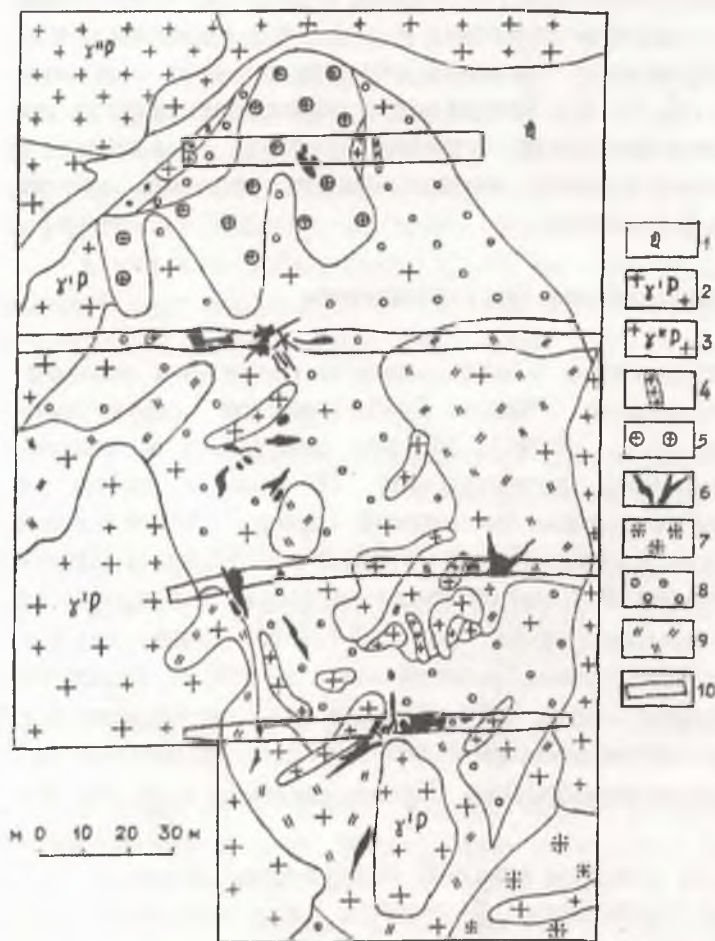


Рис. 10. Месторождение Калмык-Карган
(по Гекман Э Я., 1987г.)

- 1 – рыхлые отложения. Пермский интрузивный комплекс.
- 2 – главная интрузивная фаза. Крупно-и среднезернистые порфировидные граниты.
- 3 – фаза дополнительной интрузии. Мелкозернистые порфировидные граниты.
- 4 – дайки гранитов и аллитов.
- 5 – скарнированные породы.
- 6 – хрусталеносные кварцевые тела.
- 7 – грейзенизация.
- 8 – альбитизация.
- 9 – серицитизация.
- 10 – траншеи

относятся процессы грейзенизации, резко проявившиеся в южной части месторождения. Они зафиксировались в частичном выщелачивании и перекристаллизации кварцевых зерен в процессе развития мусковита и серицита (30-40% породы), частично – альбита, а также в образовании кварцевого мелкопрожилника (высокотемпературный темно-серый мелкошестоватый кварц). На грейзенизированные породы, сплошным фронтом или фрагментарно, наложены

Площадь развития хрусталеносной минерализации в западном секторе гранитного массива распадается на пять фрагментов. Участок "Центральный" имеет размеры в плане 250x80 м. Сложен он интенсивно измененными крупнозернистыми порфировидными гранитами, вмещающими крупный кварцево-жильный штокверк. Другие участки "Аул", "Дальний", "Восточный", "Высотный" – характеризуются меньшими размерами, менее концентрированной кварцево-жильной минерализацией и практического значения не имеют.

Распределение кварцево-жильных образований характеризуется следующими чертами:

- развитие в приконтактной зоне массива;
- концентрация их около провесов кровли массива;
- сосредоточение вблизи штоков гранитов дополнительной фазы;
- для некоторых групп кварцево-жильных тел намечается приуроченность к субширотным разрывным зонам.

Общей особенностью всех кварцево-жильных образований является их приуроченность к блокам гранитов с интенсивно проявленным процессами пневматолитовой гидротермальной переработки. Наиболее ранним изменением

изменения типа березитизации. Они проявились в развитии альбита, иногда сплошных масс серицита, с вкрапленностью пирита, халькопирита, реже – хлорита и карбонатов (анкерит, кальцит), здесь же отмечается вторичный кварц, иногда – флюорит. Зоны березитизации прослежены на глубину до 60 м, при их мощности от 0,5 до 20 м. Вблизи хрусталеносных полостей среди серицитизированных гранитов отмечаются зоны окварцованных гранитов, а также участки окремнения и ожелезнения. Внешним признаком измененных пород является их осветление (белый или желтоватый цвет); для наиболее глубоко серицитизированных гранитов характерен светло-зеленый цвет. С учетом исходного процесса минералообразования – грейзенизации, с определенной долей условности данные объекты отнесены к пневматолит-гидротермальному классу, формации хрусталесодержащих кварцево-грейзеновых образований.

По густоте развития кварцевых жил и глубине пневматолит-гидротермальной переработки вмещающих гранитов месторождение не однородно. Наиболее насыщена кварцевыми жилами (с $K_{кв}$ на уровне 10-11%) центральная часть основного штокверка, с максимальной переработкой пород. Хотя здесь же отмечаются блоки гранитов размерами до 20x20 м, почти не затронутые гидротермальными изменениями. Кварцево-жильные тела здесь – до 2-3 м мощностью, протяженностью до 50 м; имеют сложную форму, с ровными или невыдержанными по строению контактами (рис. 11.). Обычны узлы пересечения жил различной ориентировки, сопровождаемые сетью мелких кварцевых прожилков. На периферии штокверка развиты жилы малой мощности и протяженности (5-7 м) или зоны мелкопрожилника, как правило непродуктивные, приуроченные к блокам относительно слабой переработки вмещающих пород.

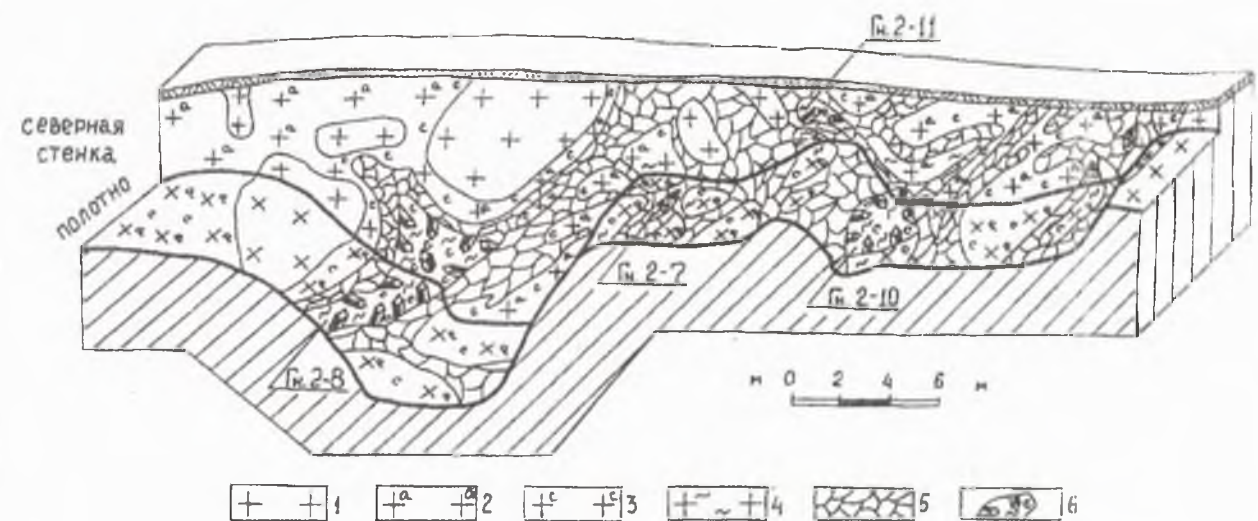


Рис. 11. Месторождение Калмык-Кырган, блок-диаграмма сложной жилы (исходные данные – Э.Я. Гекман, И.А. Куряева, 1985г.)

1 – граниты неизменные. 2 – граниты альбитизированные. 3 – граниты серицитизированные. 4 – граниты каолинизированные. 5 – жильный кварц. 6 – хрусталеносные гнезда

Вещественный состав кварцево-жильных образований. Минералогический состав кварцево-жильных тел практически однотипен для всех выявленных на массиве объектов. Жильный кварц составляет 95-99% объема жильной породы, он относится к 3 генерациям. Кварц I генерации – молочно-белый, мелко-и среднезернистой структуры, массивной текстуры – слагает основную массу жильных тел. Иногда он переходит в щестоватый и друзовый (вблизи пустот). Температура его кристаллизации (350-450⁰С) соответствует высокотемпературному или собственно пневматолит-гидротермальному этапу минерализации.

К кварцу II генерации отнесен полупрозрачный параллельно-шестоватый кварц горный хрусталь. Параллельно-шестоватый кварц нередко полностью слагает жильные формируя крустификационные структуры. Центральные щелевидные полости зональных жил выполнены кристаллами горного хрусталя. Температура кристаллизации этого кварца определена в пределах 200-300°C, что соответствует среднему низкотемпературному гидротермальному этапу.

Кварц III генерации представлен низкотемпературными разностями тонко-мелкозернистой, до халцедоновидной, структуры. Он образует "рубашки" на кристаллах горного хрусталя, входит в состав цемента внутрижильных брекчий. Преимущественно на участках пересечения разноориентированных трещин.

Из минеральных примесей в кварце обычны:

- альбит (отдельные кристаллы до 2-3 см или радиально-лучистые агрегаты);
- флюорит (кристаллы различной формы и окраски, до 2-3 см, нарастают на кристаллах горного хрусталя);
- халцедон (в виде желваков черной или белой окраски, различной формы);
- опал – в виде тонких корок на кристаллах кварца («рубашки») и желваках халцедона;
- серицит – серебристо-белые или зеленоватые чешуйки в кварце II генерации в гнездовой глинке;
- анкерит и кальцит – мелкозернистые агрегаты или шестоподобные индивиды до 1 см размерами, коричневой окраски, отдельные желтоватые кристаллы.

Встречается также рутил, псиломелан, эпидот, хлорит, пирит, гематит и др.

Особенности хрусталеносности месторождения Калмык-Кырган

На месторождении прослеживается тесная связь хрусталеносных полостей с кварцевыми жильными телами. В строении полостей принимает участие жильный кварц, слагающий в основном лишь некоторые их стенки, реже (внутри жильных тел) все стенки полостей. Полости расположены в блоках гидротермально измененных пород почти бессистемным, неравномерным их распределением. Наибольшая концентрация полостей наблюдается в центральной части месторождения, что позволяет выделить на участке Центральной обогатенную полостями, собственно продуктивную его часть. Положение полостей в жильных телах различно. Они часто приурочены к зальбандам жил, локализируются в раздувах, или расположены в местах сопряжения жильных тел. В связи с этим меняются форма хрусталеносных образований и их внутреннее строение.

Полости, расположенные внутри жильных тел, характеризуются эллипсовидной формой, вытянуты вдоль простирания жил, имеют до 1,0х0,7 м в сечении. Кристаллы кварца нарастают на всех стенках гнезд, реже находятся в массе гнездового выполнения, отличаются сравнительно высоким качеством.

Полости, тяготеющие к зальбандам жил, залегают частично в теле самой жилы, частично - выходят во вмещающие породы и обладают весьма неправильной формой. Они достигают достаточно крупных размеров (до 3-4 м в сечении, до 43 м³ общим объемом). Кристаллы в них также нарастают на стенки или концентрируются в донной части полости среди глинистой массы. На полости этой группы приходится основное количество извлекаемого кристаллосырья (максимальное содержание кристаллосырья в полости – 0,4 тонн).

Полости на сочленении жильных тел приурочены к зоне пересечения жил, вытягиваются вдоль линии этого сочленения. Размеры полостей – до 0,8 м в поперечном сечении и до 1,5 м по наибольшему измерению. Качество кристаллов здесь относительно низкое. Они в большинстве случаев оторваны от субстрата и в беспорядке погребены в

глинистой и песчано-глинистой массы; последняя содержит также щебенку жильного кварца.

Масса гнездового выполнения, вне зависимости от типа гнезд, почти целиком заполняет их объём. Основная её составляющая – глинистый материал, как правило – пестрой окраски, плотный и вязкий. Состав глин – полиминеральный: каолин, гидрослюда, хлорит, серицит, пластинчатый гипс, обычны гидроокислы Fe и Mn. "Песчанистая" составляющая – видимо, новообразованные микрокристаллы и реликтовые зерна кварца.

Всего при опробовании штокерка вскрыто 24 хрусталеносных полости, при этом 85% кристаллосырья (более 13 тонн) было получено из 9 наиболее крупных гнезд-погребов.

Качественная и технологическая характеристика горного хрусталя

Кристаллосырьё месторождения представлено собственно горным хрусталем (бесцветные кристаллы), раухтопазом, реже – цитрином и аметистом. Размер кристаллов – от 1 до 50 см по L_3 ; средние размеры – 15-25 см по L_3 и 3-6 см по L_2 . Они имеют призматический габитус, длинностолбчатую или обелисковидную форму. Кристаллы в различной степени замутнены газово-жидкими включениями (концентрация ГЖВ – преимущественно в их корневых частях, реже – во внутренних зонах). Дымчатые кристаллы нередко зонально окрашены, иногда – с фантомами из присыпок хлорита и серицита. Твердые включения (кроме хлорита и серицита) представлены также гематитом, флюоритом, эпидотом, сульфидами меди и рутилом; их развитие иногда резко снижает выход плавочного сырья. Обычным дефектом является наличие "рубашек" на гранях кристаллов, образованных плотным молочно-белым кварцем и халцедоном. Мощность этих оторочек – от 0,1 до 1,0 см.

Обилие минеральных примесей (твердых включений), а также обычные для кристаллов двойники и разнотипные трещины, исключают получение монообластей, пригодных для использования в качестве пьезо-и оптического сырья. Получаемый даже после обогащения материал пригоден лишь для плавки прозрачного кварцевого стекла различного качества; в этом же направлении может использоваться часть "шестов" полупрозрачного жильного кварца II генерации.

Из-за наличия плотных «рубашек» основным методом, обеспечивающим удовлетворительный выход обогащенного материала (около 28%), является галтование (с последующей визуальной сортировкой). Удаление "рубашек" вручную сопряжено с недопустимыми потерями сырья, является весьма трудоёмким процессом и не может применяться в промышленных масштабах.

В соответствии с ОСТ 41-01-152-79, по визуальной оценке сырьё классифицировалось на 3 сорта. Последние химико-аналитические исследования (в основном на базе химлаборатории ПО "Казкварцсамоцветы") показали следующее:

1. Для горного хрусталя I сорта среднее содержание элементов-примесей соответствует нормативам ОСТа, кроме Al и Na; по отдельным пробам превышаются предельные содержания по Ca, Si и Mn. Содержание Al практически везде вдвое выше нормы, для натрия отмечается тройное превышение предельных содержаний. Сырьё по этим данным может быть отнесено в основном ко 2 сорту вышеуказанного ОСТа.

2. Для сырья II сорта также характерно резкое превышение содержаний Al (по отношению к требованиям ОСТа), практически также в 2 раза; по данным ГОСНИИКС отмечено превышение более чем в 7 раз. По остальным параметрам сырьё соответствует требуемым нормативам.

Таблица 4.3

Результаты определения содержаний элементов-примесей в горном хрустале
месторождения Калмык-Кырган

Номер пробы, партии	Визу- альная оценка сортно- сти	Лимитируемые ОСТом примеси, $n \cdot 10^{-4}\%$									Примечание
		Fe	Al	Ti	Ca	Mg	Si	Mn	Na	K	
Лимитируемые ОСТом	I	5	20	3	5	2	0,1	0,1	10	10	
2-8-1 в	I	2,0	140	0,7	0,4	0,6	0,05	0,06	37	8	Содержание примесей та
2-9-1 а	I	0,8	11	0,1	9,4	0,4	0,07	0,01	30	н/о	Содержание примесей тн
Среднее из 8 проб	I	1,1	46	0,4	4,0	0,6	0,1	0,10	33	2	
Лимитируемые ОСТом	II	10	40	5	10	10	0,1	0,2	20	20	
1-3-Пб	II	7	200	0,6	0,5		0,03	0,2	30	75	C max
102-П	II	3,1	13	0,6	0,8	0,4	0,06	0,2	20	16	C min
Среднее из 20 проб	II	3,6	76	0,5	2,3	1,4	0,1	0,3	25	19	
Лимитируемые ОСТом	IIIc	10	80	10	10	10	1,0	1,0	50	50	
1-5	III	1,5	210	0,4	0,5		0,08	0,08	20	17	C max
1-3	III	1,1	11	0,3	0,4		0,20	0,2	20	н/о	C min
Среднее из 19 проб	III	3,3	68	0,4	2,7	2,2	0,16	0,3	26	12	

3. Сырьё для плавки, отнесенное к III сорту, по всем параметрам соответствует требованиям ОСТ 41-01-152-79.

По данным разбраковки валовых проб выход сортового сырья (участка Центральный) составил 28,8%. Соотношение сырья по качественным (визуальным) характеристикам:

I сорт – 3,3%; II сорт – 18,1%, III сорт – 78,6%.

Основные качественные характеристики сырья отражены в прилагаемых таблицах (4.3., 4.4.).

Практическая оценка Калмык-Кырганского месторождения

В результате выполненных работ месторождение Калмык-Кырган определено в качестве среднего по масштабам промышленного объекта, с запасами горного хрусталя для плавки III сорта в количестве 160,6 т и прогнозными ресурсами этого сырья в количестве 302,6 т. Категория запасов – C₂, подсчет проведен до глубины 10-15 м поверхности (до уровня грунтовых вод). Категория ресурсов – P₁, с их оценкой до глубины 40-50 м. При этом в блоки подсчета запасов и оценки ресурсов включены только центральная часть основного штокверка участка Центральный, с максимальной концентрацией кварцево-жильной и хрусталеносной минерализации.

Установленные по этой части месторождения концентрации горного хрусталя (таблица 4.4.), обеспечивают его рентабельную эксплуатацию:

содержание кристаллосырья – 2,83 кг/м³;

содержание горного хрусталя для плавки (в расчете на продуктивную массу) – 0,8 кг/м³.

По более поздним (по сравнению с указанными) данным наряду с установленными характеристиками кристаллосырья (в отношении его химического состава) определились повышенные содержания *Li* (в процессе анализируемых поисково-оценочных работ этот показатель вообще не исследовался). Фактически это определило отношение к объекту как месторождению горного хрусталя с нестандартным сырьём, условно пригодным для плавки, а более точно – с сырьём непромышленного качества, т.е. как к объекту с забалансовыми запасами. В целом это обуславливает отрицательное отношение и к другим сходным объектам представляемого Калмык-Кырганом пневматолит-гидротермального класса. Практически везде устанавливаются повышенные содержания ряда лимитируемых химических примесей (*Al*, щелочи, иногда титан).

Таблица 4.4.

Технико-экономические показатели оценки месторождения Калмык-Кырган

№№ пп	Наименование показателей	Единица измерения	Показатели		
			Запасы категории C ₂	Ресурсы категории P ₁	Всего
	I. Геологические характеристики				
1.	Объем блока в недрах	м ³	201345	371310	572655
2.	Запасы кристаллосырья	т	569.8	1050.8	1620.6
3	Запасы горного хрусталя для плавки	т	160.6	302.6	463.2
4.	Глубина оценки	м	15.5	40-50	
5.	Средние содержания:				
	кристаллосырья	кг/м ³	2.83		
	горного хрусталя для плавки	"	0.82		
	выход горного хрусталя	%	28.8		
6.	Средние содержания, приведенные к III с:				
	фактические	кг/м ³	1.59		
	минимальные промышленные	"	1.02		
7.	Уровень грунтовых вод	м (абс. отм.)	390-400		
8	Установленный водоприток в карьеры	л/сек	<1.0		
	II. Горнотехнические показатели				
1.	Способ добычи	открытый			
2.	Коэффициент вскрыши		0.37		
3.	Эксплуатационные запасы:				
	Кристаллосырья	т	558.4	1029.8	1588.2
	Горного хрусталя	т	157.4	296.5	453.9
4.	Сортность горного хрусталя				
	I сорт	%	3.3		
	II сорт	%	18.1		

	III сорт	%	78.6		
5.	Средняя цена за 1 т горного хрусталя	тыс.руб. (1985г)	9660		
6.	Себестоимость				
	Добычи на 1 м ³	руб.	3.58		
	Вскрыши на 1 м ³	руб.	2.00		
	Обогащения на 1 м ³	руб.	1.65		
7	Рентабельность отработки	%	15.2		

4.3. Олгинское месторождение (RM-кварцевые жилы)

Наиболее изученными объектами хрусталесодержащих кварцево-рудных жил являются проявления Верхне-Буреинского района. К ним относятся Олгинское и Самырское месторождения горного хрусталя, а также ряд мелких хрусталепроявлений.

Верхне-Буреинский район расположен вдоль северных отрогов Буреинского хребта, истоках р. Бурей (рр. Пр. Бурей, Ниман, Олга). Хрусталеносная минерализация района известна с 1953г, после выявления геологом И.В. Калининым выходов хрусталеносных кварцево-жилных объектов вблизи ключа Медвежьего. В дальнейшем на площади основных проявлений проводились поисковые (Бойко И.П., 1957г; Маханек Е.К, 1957г) поисково-разведочные работы (Басихин В.П., Мейтов Е.С., 1958г), а также поисково-ревизионные исследования (Пузанов Л.С, 1957г.; Зайцев П.В., 1984 г.; Щеголев А.И., 1988г.; Шатнов Ю.А., 1986г).

Геологическая характеристика района

Площадь Верхне-Буреинского района приурочена к северному флангу Монгольской Охотской тектонической области, фиксирующемуся палеозойской Джагдинской шовной зоной. Она охватывает две крупные положительные структуры – Ниланский антиклинорий, Право-Буреинский купол. В границах Ниланского антиклинория локализована северная группа хрусталепроявлений района (в том числе Олгинское месторождение). К Правобуреинскому куполу приурочено Самырское хрусталепроявление и ряд других точек минерализации (Басихин В.Г., 1957г.; Бойко И.П., 1957г.; Пузанов Л.С., Малахова В.М. 1957г.}.

В истории геологического развития Верхне-Буреинского района выделяется ряд этапов тектогенеза, от нижнепротерозойского до поздне мелового включительно, сопровождающихся двумя эпохами интрузивной деятельности – палеозойской и поздне меловой. Право-Буреинский купол, ядро которого сложено нижнепротерозойскими породами, начал своё формирование в докембрии. С верхнего протерозоя отмечается синхронное его развитие с Ниланским антиклинорием и разделяющим их Южно-Тукурингским разломом. Слагающие антиклинорий верхнепротерозойские породы смываются серией параллельных разлому асимметричных наклонных складок ЗСЗ ориентировки. Здесь же развита серия разрывных нарушений близкой ориентировки (взбросы с падением на С под углом 40-50°). Формирование осложняющих структур связано в основном послекарбоновыми тектоническими дислокациями (рис. 12.).

Для последующего развития района наиболее значительными этапами явились:

в юрское время – образование к северу от него крупного Ульбанского прогиба;

в верхнемеловое время – формирование наложенной впадины и сопутствующий ему вулканизм на севере Ниланского антиклинория;

внедрение в верхнем мелу гранитоидов Эзопского комплекса с сопутствующими дайковыми сериями (фельзит-порфиры и др.).

Данные процессы связываются с мезозойской тектоно-магматической активизацией района.

В разрезе литолого-стратиграфических комплексов, проявленных на площади Верхне-Буреинского района, преобладают метаморфические породы нижнего и среднего протерозоя (различные кристаллические сланцы, реже – мрамора), метаморфизованные терригенно-карбонатные породы верхнего протерозоя. К северу от хрусталеносной площади известны метаморфизованные терригенные породы нижнего-среднего девона, осадочные и вулканогенные породы верхнего девона-карбона. В северной же части площади распространены кварцевые порфиры, их туфы и лавобрекчии позднемелового Эзопского вулканогенного комплекса (λK_2).

В одноименном (Эзопском) интрузивном комплексе доминируют граниты (γK_2), образующие ряд крупных (до 10 км в поперечнике) субизометричных массивов – Олгаканский на западе площади, Олгинский в её северной части и др. Гранитные интрузивы имеют резкие крутые контакты с вмещающими породами протерозоя, с вулканитами верхнего мела – контакты как правило выположены. Из приконтактных изменений обычны окварцевание (ороговикование) вмещающих песчаников и сланцев, скарнирование карбонатных пород, грейзенизация.

Строение интрузивных тел зональное. Центральная их часть сложена среднезернистыми порфировидными биотитовыми гранитами, периферия – аплитовидными гранитами, гранит-порфирами и др. С ними ассоциируют малые тела, дайки и штоки диоритовых порфиритов (δK_2), дайки фельзитов, кварцевых порфиров, аплитов.

С кварцевыми жилами, грейзенами и скарнами, обусловленными в своем развитии интрузиями Эзопского комплекса, связано редкометальное – полиметаллическое оруденение. С ними же связаны известные проявления горного хрусталя (Олгинское, Самырское месторождения, проявления Грейзен, Цирковое и др.). Наиболее известным и значительным из них является Олгинское месторождение, являющееся типовым объектом района.

Геологические условия локализации месторождения

Олгинское месторождение расположено в бассейне р. Амбардак (правый исток р. Олга), в верховьях ключа Медвежьего.

Месторождение приурочено к верхней части разреза верхнепротерозойских отложений, к СВ крылу одной из антиклинальных складок Ниланского антиклинория. Оно находится в 3 км к юго-западу от контакта Олгинского гранитоидного массива. В границах месторождения с СВ на ЮЗ прослеживаются следующие разности пород (Басихин В.Г., 1957г.; Тюленёв В.М., Пузанкова Л.А., 1958г.):

1. Сланцы кварцево-слюдистые (метаморфизованные песчано-глинистые отложения) – тонкополосчатые, состоящие из мелкочешуйчатого биотита, мусковита, хлорита, микрозернистого кварца. Видимая мощность сланцев – до 10 м.

2. Песчаники полимиктовые тонко-мелкозернистые, неясно-сланцеватой текстуры. Обломочный материал породы – кварц, КППШ, плагиоклаз; цемент – из тонкозернистого кварца, карбонатов, полевых шпатов. Метаморфогенные новообразования представлены биотитом, мусковитом и хлоритом. Мощность пласта до 7 м.

3. В северо-западной части месторождения, а также в виде реликтовых блоков в его центральной части, отмечаются линзы мраморизованных крупнозернистых известняков; видимой мощностью до 3 м.

4. Сланцы слюдистые, с реликтовой тонко-косослоистой текстурой, переслаивающиеся с песчаниками и переходящие в типичные кварцево-слюдистые образования. Состав пород –

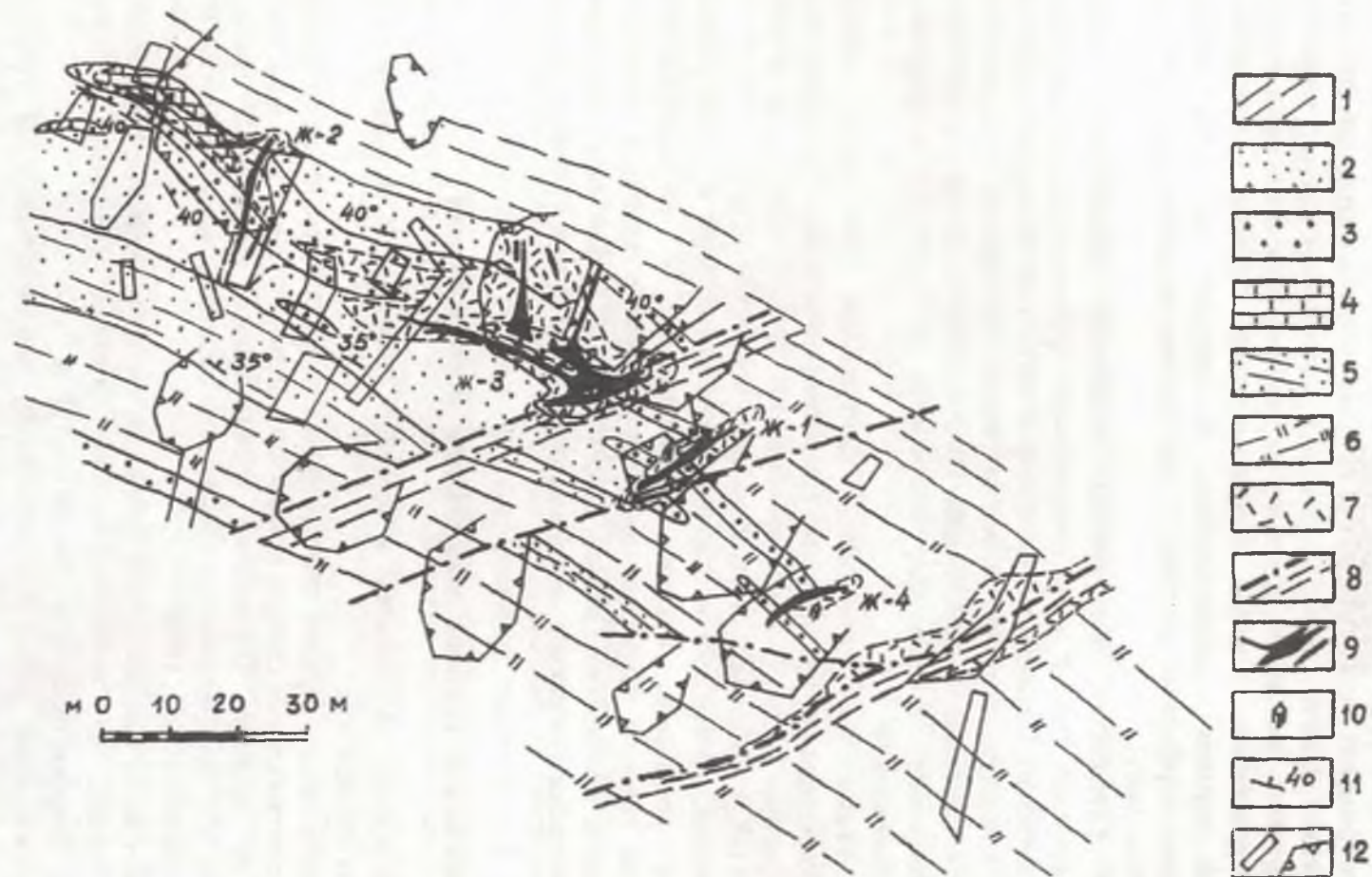


Рис. 12. Геологическая карта Олгинского месторождения (по Маханек Е.К., 1961г.)

1 – песчано-глинистые сланцы. 2 – тонкозернистые полимиктовые песчаники. 3 – песчаники с карбонатным цементом. 4 – мраморы. 5 – переслаивание песчаников и слюдяных сланцев. 6 – слюдяные сланцы. 7 – зоны скарирования и окварцевания. 8 – разрывные нарушения с зонами трещиноватости. 9 – кварцевые жилы. 10 – проявления хрусталеносной минерализации. 11 – элементы залегания вмещающих пород. 12 – горные выработки

кварц-биотитовый, биотит-хлоритовый, в нижней части разреза – кварц-мусковитовый. Сланцы микролепидобластовой структуры, сланцеватой и брекчиевидной текстуры. В сланцах обычны микропрожилки кварца различной ориентировки.

Для всех типов терригенных пород характерно интенсивное замещение первичных минеральных ассоциаций вторичными метаморфогенными (хлорит, серицит, роговая обманка, моноклинный пироксен, волластонит и др.).

В северной (пониженной) части месторождения встречены мелкие линзовидные тела плагиоклаз-кварцевых пород эффузивного облика (с общей порфировой структурой), предположительно – апофизы кислых даек типа фельзит-порфиров.

В границах месторождения верхнепротерозойские породы имеют общее моноклинальное залегание, с выдержанным падением к СВ под углом $35-45^\circ$. В зоне развития жильных тел отмечаются флексурообразные осложнения, с изменением углов падения пород от $10-20^\circ$ до $50-70^\circ$. Юго-восточный фланг месторождения осложнен серией малоамплитудных крутопадающих сбросов субширотной ориентировки (рис. 12.). Нарушения проявляются зеркалами скольжения, зонами рассланцевания и дробления пород, а также системами сопряженных трещин отрыва и скола. Трещины концентрируются вдоль контактов литологических элементов разреза.

Основные кварцевые жилы месторождения приурочены к пласту аркозовых песчаников, контактирующему с линзами мраморизованных известняков. Формирование жильных полостей обусловлено, по всей вероятности, тектоническими смещениями в плоскости субширотных нарушений. В блоке относительно хрупких песчаников, перекрывающихся и подстилающихся более пластичными сланцами, закономерное образование трещинных структур, субпараллельных активизирующимся сбросам или диагональных к их простиранию. Деформированный пласт гетерогенных пород обеспечил также латеральное распространение флюидопотока к СЗ от зоны разрывов, являющейся эффективным рудоподводящим каналом.

Характеристика кварцевых жил

В процессе разведочных работ на месторождении вскрыто 6 жильных тел, основными из которых по продуктивности явились жилы №1 и №3. Это неправильно-линзовидные жильные образования субсогласного – секущего залегания, длиной до 25 м и мощностью до 2,5 м. Встречены также отдельные мелкие минерализованные трещины мощностью до 0,3 м. Кварцевые жилы – зональные многополостные тела, имеющие в типовом варианте следующее строение (Шатнов Ю. А., Коваленко И.В. и др., 1988г.):

- призальбандовая зона (3-4 см) из мелкозернистого кварца со столбчатыми кристаллами везувиана;

- существенно кварцевая порода с "ксенолитами" вмещающих песчаников. Кварц – спутанно-шестоватой текстуры; мелко-, крупно- и гигантозернистый, просвечивающий – полупрозрачный, бесцветный. Мощность зоны до 1 м;

- кварцевая порода из гигантозернистого шестоватого полупрозрачного кварца, с участками мелко-среднезернистого субстрата, плотного молочно-белого массивного кварца. Мощность зоны до 0,5 м;

- хрусталеносные полости линзовидной, реже субизометричной формы, размерами до 2,0х1,0 м и более.

Жильный кварц (в том числе и околосредовой) насыщен мелкими ($<0,008$ мм) существенно газовыми включениями (коэффициент заполнения $F < 0,5$ ед.), гомогенизирующимися при $t^0=340-390^\circ\text{C}$. В околосредовом кварце установлено большее развитие двухфазных включений ($F=0,6-0,75$ ед.), с относительно невысокой $t^0_{\text{гом}}$ ($180-300^\circ\text{C}$). Отмечается общая высокая декрептоактивность кварца ($n=300-700$ ед.), при

отсутствии существенных различий в характеристиках кварца разных зон. Кривые декрепитации — мономодальные, с t° растрескивания от 360 до 600°C. Для околосредового кварца характерен слабо выраженный дополнительный пик декрепитации в интервале 180–320°C (показатель декрептоактивности в этом интервале N^{320}_{180} не превышает 7%).

Анализ деформационных структур в кварце показывает отсутствие каких-либо различий для отдельных его разновидностей. Показатель блокованности зёрен — 0,5–1,5°, показатель волнистости погасания — 2,5°/мм, что свидетельствует о слабом развитии кристаллизационных и наложенных деформаций.

Количественным спектральным (1957г) и химико-спектральным анализом (1987г) установлено высокое содержание в кварце Al (до $6 \cdot 10^{-2}\%$), Fe (до $4 \cdot 10^{-2}\%$), Ti (до $4 \cdot 10^{-4}\%$) щелочей ($1\text{--}2 \cdot 10^{-3}\%$). Анализ состава водных вытяжек (1957г) показал высокую насыщенность жидкой фазы ГЖВ щелочными и щелочноземельными элементами (Na^+ — 0,369 мг, K^+ — 0,358 мг, Ca^{++} — 0,148 мг, Mg — 0,393 мг на 100 г стерильного вещества). В анионной группе преобладают HCO_3^- — 2,745, SO_4^{2-} — 0,699, Cl^- — 0,638 мг.

В кварце постоянно отмечается присутствие минеральных постриматических примесей, развивающихся в виде мелко-гнездовой и рассеянной вкрапленности во всех его типах. К ним относятся:

нерудные — гранат (андрадит), диопсид, везувиан, апатит, сфен, циркон, кальцит;
рудные (по мере убывания) — пирротин, молибденит, галенит, сфалерит, арсенопирит, пирит, самородный висмут.

Хрусталеносные полости концентрируются преимущественно в верхних частях жильных тел. Контуры полостей — нечеткие, с постепенными переходами от гигантокристаллического шестоватого кварца в друзовые образования. Гнездовое выполнение, помимо кристаллов кварца, представлено глинистой массой и кварцевой дресвой, насыщенной радиально-лучистыми агрегатами цеолитов и пластинчатыми выделениями кальцита, тремолит-актинолитовой сыпучкой. Глинистая порода состоит из тонкодисперсного кварца (30%), плагиоклаза (~20%), серицита (10%), хлорита (10–15%) и галлуазита, присутствуют также гетит, цеолит, кальцит.

Кристаллы горного хрусталя Олгинского месторождения бесцветные или слабо-дымчатые, зональные. Размеры кристаллов — до 0,7 м по L_3 ; габитус — обелисковидный, различными соотношениями L_3/L_2 (от укороченных бочонковидных до удлиненных пикообразных), призматические кристаллы редки. В основной массе кристаллы пораженные двойниками (бразильского и дофинейского типа), в ряде случаев содержат твердые включения. Среди последних преобладают пироксен, амфиболы, биотит, везувиан, хлорит, клиноцоизит, флюорит, встречаются гранат, цеолит. Рудные минералы представлены пирротин, молибденитом, вольфрамитом, марказитом, гидроокислами Fe , реже цирконом и рутилом. Кристаллы как правило покрыты кварцевой "рубашкой" (до 2–3 мм), реже — корродированы.

Большая часть кристаллов в различной степени поражена ГЖВ, относящимися к типам.

Тип I — существенно газовые (водный показатель $F < 0,55$), мнимо-вторичные, мелкие ($< 0,016$ мм), с $t^{\circ}_{\text{гом}} = 330\text{--}350^{\circ}\text{C}$ характерны для внутренних участков кристаллов.

Тип II — типичные газожидкие ($F = 0,6\text{--}0,7$), в основном сингенетические, располагаются по залеченным трещинам в основании кристаллов и по зонам роста ромбодров в их головке, с $t^{\circ}_{\text{гом}} = 340\text{--}390^{\circ}\text{C}$.

Тип III — заполняет вторичные трещины и гомогенизируется в жидкую фазу при $t^{\circ}_{\text{гом}} = 180\text{--}300^{\circ}\text{C}$, показатель $F > 0,7$ ед.

Кривая декрепитации субстрата кристаллов однотипна с кривыми околосредового кварца, с основным пиком в интервале $t^{\circ}_{\text{гом}} = 380\text{--}500^{\circ}\text{C}$ и слабо проявленным пиком

180-300°C. Идентичен и состав водных вытяжек.

Общий состав элементов-примесей в горном хрустале коррелируется (табл. 4.5) с составом жильного кварца – резко повышено содержание *Al* (до 0,02%), *Fe* ($1,6 \cdot 10^{-3}\%$), щелочей (до $n 10^{-3}\%$). В количестве 0,001-0,01% фиксируются *Ti*, *Cu*, *Pb*, *Zn*, *Be*, *Sn* (данные 1957г.).

Околожильные изменения. Характер околожильных изменений Олгинского месторождения весьма специфичен (Шатнов Ю.А., Коваленко И.В. и др., 1988г.). Наиболее четко выражены процессы скарнирования и окварцевания пород вмещающего комплекса. Эти изменения проявлены в аркозовых песчаниках с карбонатным цементом в виде тонкозернистого агрегата моноклинных пироксенов, реже – гранатов, а также везувиана, актинолита, плагиоклаза и кварца. По линзам известняков развиваются типичные скарны гранат-амфиболового, гранат-пироксенового, пироксенового состава. Однако эти скарны не образуют метасоматических зон с закономерными соотношениями между отдельными разностями. Практически зональность проявлена только внутри отдельных блоков (глыб) пород, подвергшихся изменениям. Внешние зоны обычно сложены мономинеральной

Таблица 4.5.

Содержание элементов-примесей в горном хрустале Олгинского месторождения

Состав проб	Ед. измер.	Содержание элементов-примесей									
		Cu	Ti	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Na	K	Li
Горный хрусталь – 2 пробы (1986г)	$n 10^{-4}\%$	<0.1	<3.0	-	1.6	15.0	165	0.3	6.0	9.0	16.0
Горный хрусталь – состав ГЖВ (1957г.)	мг/экв			0.0075	0.0301				0.0161	0.0092	

гранатовой или везувиановой оторочкой, внутренние – пироксеновыми и амфиболовыми скарнами (с гранатом), а также различными переходными разностями. Рудные минералы скарнов представлены сульфидами (пирротин, пирит, сфалерит, халькопирит, на контакте с кварцевыми жилами – молибденит), реже – касситеритом и шеелитом.

Окварцевание проявляется в полимиктовых песчаниках (микросланцах) или в виде новообразованных кварцевых зерен, или в виде мощных зон кварцевых метасоматитов (типа "вторичных кварцитов" по Е.К. Маханек). Их основной состав – кварц (главный компонент), микроклин, слюды, хлорит, кальцит, в других случаях – кварц, эпидот (цоизит), амфибол, часто – сфен, сульфиды; иногда – турмалин. Структура породы – гетеро-лепидо-гранобластовая или роговиковая, микрогранобластовая; текстура – массивная или полосчатая.

Аргиллизация проявлена в крайне ограниченных масштабах, во внутрижильных "ксенолитах" вмещающих пород. Состав их аналогичен составу глинистой массы гнездового выполнения.

Структурно-геологическое положение гидротермально-метасоматических образований характеризуется следующим:

1. Скарны не образуют выдержанных по составу зон, хотя локализуются вдоль определенных литологических элементов разреза.

2. Единые контуры ореолов сохраняются вне зависимости от типа метасоматитов (скарны или "вторичные кварциты"), с достаточно четкими поперечными границами между ними, наследующими литологические контуры (рис. 12.).

3. Общие контуры зон изменений отвечают положению типичных гидротермальных ореолов, связанных с трещинными структурами (разрывами, жильными телами выположения и т.д.).

4. Контакты кварцевых жил с зонами окварцевания и скарнирования — неясными постепенными переходами жильной породы во "вторичные кварциты" или скарны в интервале 5-10 см.

5. Степень окварцевания и скарнирования пород снижается на удалении от жильных тел и нарушений в обе стороны от их границ, с формированием зон чехлового типа.

В целом и скарны, и "вторичные кварциты", и кварцевые жилы, и хрусталеносные полости в структурно-морфологическом плане могут рассматриваться как сопряженные элементы единой минерализованной системы. Скарнирование здесь не имеет площадного ореольного характера и развивается по принципу реакционной "кап" высокотемпературной кварцевой жилы, локализованной в специфических литологических блоках.

Кварцевые жилы несут признаки формирования в условиях избыточного (некомпенсированного) объема жилонмещающей полости (преобладание спутанно-шестоватых, друзовых текстур кварца, сохранение значительных объемов неминерализованного пространства).

Разобранные особенности Олгинского месторождения позволяют рассматривать его (на уровне рудной формации) как специфичный тип хрусталепооявлений, связанных со средними высокотемпературными кварцево-рудными жилами, содержащими хрусталеносные полости остаточного типа. Конкретный тип рудной формации данного объекта — молибденово-кварцевый. Скарны в данном случае выступают как своеобразные околожильные зоны изменений, сопряженные с кварцево-рудными жильными телами, достаточно обычные для редкометальных месторождений пневматолит-гидротермального происхождения.

Практическая оценка месторождения

По результатам частичной отработки месторождения оно относится к классу пьезокварцевых объектов.

При относительно высокой дефектности горного хрусталя из кристаллосырья обеспечивался удовлетворительный выход моноблоков пьезокварца (Тюленев В. В., Пузанкова Л.А., 1958г.). Общее извлеченное количество кристаллосырья — 4480 кг, в том числе моноблоков — 136 кг; подсчитанные запасы — 478 кг/мнбл.

Сортность полученного пьезокварца достаточно высокая: высший сорт — Ic-31,5%, II c — 18,5%, хотя значительная часть сырья относится к "маломерке" — Ic-31,5%. В качестве плавочного сырья горный хрусталь месторождения не использовался. Перспективы использования его в этих целях отсутствуют из-за повышенного содержания примесей (ЭП (табл. 4.5.)).

Содержание пьезокварца в расчете на отработанную жильную массу составило 21%, что не обеспечивает рентабельность эксплуатации месторождения только на горный хрусталь. Однако с учетом того, что жилы и сопровождающие их зоны скарнирования содержат промышленные концентрации редких металлов (Mo, W, Sn, Bi), подсчитанные запасы месторождения в принципе могут экономически рентабельно отрабатываться (открытым способом).

Видимо, подобный подход сохраняется для всех объектов RM-кварцевых хрусталесодержащих формаций.

5. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ АКТИВИЗИРОВАННОГО ДРЕВНЕГО ЩИТА (ЮЖНО-ЯКУТСКАЯ ПРОВИНЦИЯ)

5.1. Общая характеристика провинции

Южно-Якутская хрусталеносная провинция включает площади верховий Алдана (Верхне-Алданский район), Тимптона (Верхне-Тимптонский район) и Амги (Амгинский узел). Провинция приурочена к средней части Алданского нагорья, с характерным горно-таежным ландшафтом, типичным для Южной Сибири. Территория провинции является относительно доступной; её южные контуры примыкают к зоне БАМа, с севера на юг она пересекается трассой АЯМ, с параллельной железнодорожной магистралью. Основные хрусталеносные объекты находятся на расстоянии 30-100 км от указанных трасс и связаны с последними вездеходными дорогами и зимниками.

Освоение провинции совпало во времени с военным периодом, потребовавшим обеспечения пьезосырьем оборонной промышленности. За этот и последующий послевоенный периоды здесь был открыт и введен в эксплуатацию целый ряд месторождений: Курумкан, объекты Нимнырского и Суон-Тиитского полей, М.Нихот, Таборное и др. Исследования проводились сотрудниками Алданской экспедиции треста №13 МРТП, из которых наибольший вклад в решение поставленных задач внесли И.П. Ермаков, И.Н. Алмазов, А.С. Гудков, Е.М. Лазько, Г.Б. Митич, Г.Н. Рюриков, А.И. Судеркин, Л.Е. Ушверидзе, М.Я. Харин, А.А. Шапошников, Л.К. Шасткевич и др.

С конца 50-х — начала 60-х годов работы по изучению провинции продолжают той же Алданской экспедицией (позднее — экспедиция № 107, ныне ГТТП "Востоккварцсамоцветы"). В основном акцент в этот период делался на крупномасштабные поисковые работы и ревизию — переоценку ранее выявленных объектов, в том числе и на горный хрусталь для плавки. К этому периоду относится открытие крупнейшего Перекатнинского месторождения, средних-мелких по масштабам объектов Бугырькта и Лукинда (на Тимптонской площади), Отрада и Пять Пальцев (Суон-Тиитское поле), Килеричи и др. Основной вклад в исследования этого периода внесен геологами И.Н. Назаровым, П.К. Шеметовым, В.К. Русановичем, А.П. Туринге, В.И. Бергером, Б.М. Дудаковым, И.М. Вылковым, В.И. Хрусталевой, И.Я. Смольским, Е.Т. Саратовой и др.

Последующие ГРР, ориентированные на пьезокварц и плавочное кварцевое сырье, включали в основном поисково-оценочные и разведочные работы, преимущественно в районе Перекатнинского месторождения и Суон-Тиитского поля. Из работ этого времени наиболее важны исследования А.Н. Белого, Г.С. Гуревича, С.М. Жарова, Г.Б. Иевлева, Н. В. Котова, Л.В. Оганесяна, Г.П. Пацкевича, Е.В. Расческина, А.В. Соколова, В.Н. Соколова, В.К. Федотова, геофизиков — В.Р. Асояна, Е.М. Кукова и др. Их усилиями окончательно определилось положение провинции как второй по значению после Урала базы природного пьезосырья России.

Параллельно с производственными ГРР, с целью подготовки и выработки стратегии их дальнейшего проведения, осуществлялись научные исследования прогнозного и аналитического плана. Из наиболее ранних обобщающих работ сохраняют свою актуальность материалы Е.М. Лазько (монография, 1957г.), В.И. Бергера (диссертация к.г.-м.н., 1962г.), Е.Л. Кулиша (монография и статьи, 1963г.) и др. На уровне специализированных тематических работ были проведены обобщения Л.Е. Ушверидзе и А.Н. Коплуса (1964-1967гг.), В.К. Русановича (1968 г.), В.И. Хрусталевой (1968г.), являющиеся до настоящего времени наиболее надежным источником фактических данных о хрусталеносности района. Прогнозные построения, с привлечением материалов по геоморфологии и термобарогеохимии, выполнялись силами ВНИИСИМС (Л.В. Оганесян,

З.А. Багрова, Б.А. Дороговин, Н.И. Брезгунов и др., 1968-1975 гг.). В практическом научном плане весьма интересны разработки А.Ф. Свириденко и А.А. Смирнова (1976 г.) по генезису месторождений, Л.В. Оганесян и В.К. Федотова (1984 г.) по закономерностям размещения. Из локальных тематических исследований интересны работы Н.И. Капашев, А.Н. Рассказчикова и др. (1977-1980 гг.) по Суон-Тиитскому узлу, Н.Г. Быдтаевой (1987 г.) по Суон-Тиитскому и Тонракскому полям и др. К наиболее поздним прогнозирующим обобщениям (на базе системы "Регион") относятся исследования группы ВНИИСИМС 1989-1992 гг. (Ю.А. Шатнов, Н.П. Костелов и др.).

Главной минерагенической единицей провинции является Верхне-Алданский район, рассмотрению которого с привлечением данных по месторождению Малый Нихот (Верхне-Тимптонский район) и сосредоточивается основное внимание.

Геологическое строение Верхне-Алданского района

Хрусталеносная минерализация Верхне-Алданского района связывается исключительно с раннеархейскими образованиями Алданского щита. Конкретно, месторождения и проявления горного хрусталя локализируются в кварцитах верхнеалданской свиты Иенгской серии, переслаивающихся с гранито-гнейсами, различными по составу кристаллосланцами и амфиболитами. Эти, предположительно первично — осадочные образования, прорваны многочисленными раннедокембрийскими интрузиями аляскинского гранитов и позднедокембрийскими (по некоторым авторам — мезозойскими) дайками диабазов. В трактовке авторов наиболее поздних обобщений (Л.В. Оганесян, В.К. Федотов и др., 1984 г.), рассматриваемая часть Южно-Якутской хрусталеносной провинции приурочена к Иенгской складчатой области Чаро-Алданской литосферной плиты. Здесь выделяются крупные куполовидные структуры архейской консолидации — Алдано-Тимптонская, Тимптоно-Гонамская, локализирующие хрусталеносную минерализацию. Слагающие структуры архейские вулканогенно-осадочные образования метаморфизованы гранулитовой или амфиболитовой фации.

Южные фланги структур срезаны Становым глубинным разломом, отделяющим их от расположенной к югу зоны становой орогении. В пределах Алдано-Тимптонской структуры в отдельных блоках (Унгринский, Ярогинский грабен и др.) развиты отложения протерозоя. По другим данным некоторые из этих блоков сложены слабо метаморфизованными породами верхне-алданской свиты (архей).

Архейские образования перекрыты платформенным чехлом, представленным карбонатно-терригенными отложениями юдомской свиты венд-кембрийского возраста. Наиболее поздними являются юрские терригенные породы, выполняющие разломы на юге провинции Чульманскую впадину.

Комплекс мезозойской активизации региона представлен редкими интрузиями сиенитов и граносиенитов, а также системой преимущественно субширотных региональных разломов, иногда сопровождаемых проявлениями вулканизма.

Согласно другой структурно-тектонической схеме развития Алданского щита Верхне-Алданский район входит в Центрально-Алданскую структурно-фациальную зону. Последняя, начиная с раннего архея, существует как стабильная область, испытывавшая умеренную (без интенсивной складчатости и динамометаморфизма) активизацию в протерозойское время. С юга и юго-запада Центрально-Алданская зона обрамлена структурами Олекмо-Курультино-Зверевской зоны, испытывавшими интенсивную складчатость или расщепление в позднеархейский и раннепротерозойский периоды тектоногенеза. Эти структуры разделены Западно-Алданской зоной, активизированной в более позднее время.

Кварц-хрусталеносная минерализация Южной Якутии по характеру своего проявления и интенсивности в общих чертах соответствует приведенной схеме тектонического развития. Промышленная хрусталеносность имеется только в Центрально-Алданской структурно-фациальной зоне, что по мнению Н.Г. Быдтаевой (1985г) связано с проявлением в протерозое своеобразной тектоно-метасоматической активизации этого относительно устойчивого архейского блока. В Западно-Алданской зоне наблюдается рассеянная непромышленная хрусталеносность. Для Олёкмо-Курультино-Зверевской структурно-фациальной зоны характерен полициклический метаморфизм с широким развитием процессов диафтореза и динамометаморфизма. Хрусталеносная минерализация проявлена здесь на уровне минералогических находок. В то же время наблюдается интенсивная кварцево-жильная минерализация, представленная метаморфизованными кварцевыми жилами с прозрачным рекристаллизованным и гранулированным кварцем разных типов.

В более детальном плане в строении Верхне-Алданского и Тимптонского хрусталеносных районов проявлен характерный для архейд линейно-купольный тип тектоники с преобладанием овально-купольных складчатых структур, сочетающихся с линейно-складчатыми (рис. 13.).

Из разрывных структур, определяющих тектонический рисунок территории выделяется система глубинных надвигов, опоясывающих хрусталеносную провинцию с юга и запада. В Верхне-Алданском районе фиксируются крупные разломы северо-западной и меридиональной ориентировки. Для всей провинции в целом характерны зоны широтных и субширотных дислокаций. Часть этих разломов, особенно расположенных на юго-востоке провинции, определённо связана с системой мезозойской активизации, поскольку контролирует положение молодых прогибов и вулканизма соответствующего возраста.

Основные характеристики хрусталеносной минерализации

Верхне-Алданский район является территорией интенсивного развития кварцево-жильной, в т.ч. хрусталеносной минерализации. Кварцевые жилы относятся к трем основным типам:

- метаморфизованные кварцевые жилы;
- безрудные неметаморфизованные кварцевые жилы;
- кварцевые жилы хрусталеносной формации.

Метаморфизованные кварцевые жилы, ранее выделяемые (Л.Е. Ушверидзе, 1967г.) как высокотемпературные пневматолито-гидротермальные образования, проявлены в зонах троговых структур – Ярогинского грабена, Унгринского клина; за пределами района развиты на всем протяжении Олекмо-Становой кварценосной зоны. Сложены жилы рекристаллизованным крупнозернистым кварцем различного уровня прозрачности и мелко-среднезернистым гранулированным кварцем, характерным для дислокационно-метаморфических образований. В границах района метаморфизованный кварц как правило загрязнен минеральными примесями (слюда, полевые шпаты, магнетит) и насыщен Al, Ti и щелочами. Практического значения данные жилы не имеют.

Безрудные кварцевые жилы известны в ряде полей района (в верховьях рек Алдан и Амедичи, на жильных полях Иннанак, Соголох, М.Нихот и др.). Наиболее крупные из них (устье р. Амедичи), приуроченные к зонам субширотных нарушений, достигают протяженности более 2 км при мощности до 8-9 м. Сложены жилы непрозрачным кристаллическим кварцем средне-крупнозернистой структуры, массивной текстуры, слабо загрязненным гидроокислами железа (по трещинам), зернами полевого шпата. По основным характеристикам кварц соответствует ТУ на кварц для оптического стекловарения (В.Н. Соколов и др., 1976г.). Ресурсы жильного кварца оцениваются в 27 млн. тонн. Образование жил данного типа, предположительно, синхронно становлению хрусталеносной

минерализации...

Хрусталеносные кварцевые жилы определяют промышленную специализацию Южн. Якутской провинции. В её границах выделяется более 45 жильных полей. Минерализация представлена собственно кварцевыми жилами и сопряженными с ними хрусталеносными полостями.

Кварцевые жилы сложены в основном непрозрачным молочно-белым, светло-серым кварцем массивной или шестоватой текстуры, от мелкозернистого до крупного, гигантозернистого, обычны также друзовые структуры. Меньшим распространением пользуется бесцветный или серый прозрачный – полупрозрачный кварц, преимущественно друзовой структуры, связываемый с поздней (собственно хрусталеносной) стадией минерализации. Кварц достаточно стерилен. Характерны главным образом пленочные выделения гидроокислов *Fe* и *Mn* и охристо-глинистые примазки по трещинам. Минеральных включений наблюдаются также полевые шпаты, гематит; в единичных зернах – монацит, циркон, сфен, рутил. С собственно хрусталеносной стадией связываются выделения глинистых минералов, гидроокислов железа, барита, кальцита. Жилы относятся (по Л.Е. Ушверидзе, 1967г.) к среднетемпературным с наложенной низкотемпературной стадией гидротермальным образованиям, "с некоторыми чертами альпийских жил". Возраст жил признается как средне-позднепротерозойский.

Хрусталеносная минерализация, связываемая с поздней низкотемпературной стадией гидротермального процесса, в различной степени проявлена в большей части кварцевых жил, хотя масштабы ее часто относительно редуцированы. Горный хрусталь выполняет полости различных типов (остаточные, тектонического происхождения, полости растворения). Остаточные полости – как правило малых объемов (уровень жеод – занорышей), щелевидной и линзовидной формы, реже – изометричные и остроугольные. Кристаллы горного хрусталя обычно продолжают шесты жильного кварца, завершая их в виде прозрачных головок; реже – нарастают на гранях крупных шестов. Выполнение этих полостей – кварцевая дресва, колломорфные агрегаты лимонита, редко – глинистая масса. Кристаллы обычно заражены ГЖВ.

Полости тектонического происхождения (минерализованные трещины во вмещающих породах и полости повторных трещин в жилах) концентрируются в зонах влияния разрывных нарушений, часто секут кварцевые жилы или следуют вдоль их контактов. Форма их – щелевидная-линзовидная или трубообразная, эллипсовидная, неправильная. При этом минерализованные трещины достигают размеров 3,0x0,5 м; полости повторных трещин – объемов до $n \cdot 10 \text{ м}^3$. В первом случае обычны щетки мелких (не более 15 см) кристаллов, во втором – кристаллы чаще трещиноватые, брекчированные, свилеватые, регенерированные, хотя обеспечивают промышленные содержания пьезокварца.

Полости растворения являются основными концентраторами горного хрусталя. Располагаются в жильных зонах, локализуясь или непосредственно в жильных телах и зальбандах, или вблизи жил на пересечении трещин и разломов в кварцитах, иногда – внутри гранитоидов. По объему они в основном соответствуют гнездам и погребам при средних размерах 5-15 м^3 . Наиболее крупные полости известны на месторождении Перекатно-Монго-Ал. достигают объема 2000 м^3 и более. Форма полостей – очень разнообразная, с характерными плавными очертаниями. Обычны многокамерные полостные зоны, с наиболее крупным основным погребом и отходящими от него рукавами-занорышами. Над крупными полостями развиваются своды обрушения; в результате в их нижней части накапливаются обломки вмещающих пород вперемешку с друзами, а в зальбандах проявляются сводовые трещины. Степень хрусталеносности полостей растворения наиболее высокая. Кристаллы кварца здесь крупные, высокого качества. Образование полостей обусловливается активным действием растворов в зонах дробления кварцитов и кварцевых жил. Иногда полости растворен

объединяясь единым подводющим каналом, образуют "рудные столбы". Каналы ("трубы" по Н. В. Котову) представляют собой полости выщелачивания, практически не несущие хрустальной минерализации, полые или заполненные глинистой массой. Они имеют субизометричные поперечные сечения с максимальными размерами до 80 см и сложной извилистой конфигурацией. По данным Н.В. Котова (1988г.) каналы прослеживаются по вертикали на десятки метров и являются надежным поисковым признаком хрусталоносных полостей.

Гнездовое выполнение полостей всех типов представлено горным хрусталем, обломками вмещающих пород и кварцевых жил, песчано-глинистой и глинистой массой. Горный хрусталь составляет обычно 50-70% объема полостей. Он представлен или типоморфными бесцветными разностями, или в различной степени окрашенными индивидами – дымчатыми, реже желтоватыми. Характерный "алданский" габикус кристаллов – средне-длиннопризматический, в меньшей мере развиты короткопризматические и обелисковидные индивиды. Средние размеры кристаллов – 10-20 см по длинной оси, хотя отдельные достигают длины 170 см. Обычны друзовые сростки, в том числе с параллельным срастанием кристаллов. Основные дефекты кристаллосырья на месторождениях Верхне-Алданского района – наличие бразильских двойников, замутненность ГЖВ. Главный полезный компонент кристаллов – пьезокварц достаточно высокого качества. Качество получаемого плавочного сырья низкое (табл. 5.1.) из-за насыщенности Al (на уровне 100-150·10⁻⁴%), на некоторых объектах – щелочами (Na и K). Из минеральных примесей в кристаллах отмечаются гематит, хлорит, барит, характерны охристо-глинистые или чисто железистые рубашки.

Глинистое заполнение полостей – переотложенные бесструктурные глины. Иногда в глинах сохраняется структура первичных пород (граниты, гнейсы, пегматиты), указывая на то, что по крайней мере часть объема гнезда является продуктом замещения вмещающих пород, а не только результатом их растворения и последующего заполнения. Составляющие элементы глин – каолин, гидрослоды, хлорит, серицит, гидроокислы Fe и Mn . Аксессуары – анатаз, рутил, гематит, монацит, биотит; редко – магнетит, пирит, циркон, силлиманит, роговая обманка. В отдельных случаях полостное заполнение представлено баритом и кальцитом (месторождения Перекатное, Пять-Пальцев).

Околожилные изменения вмещающих пород

Изменения вмещающих пород наиболее проявлены в зальбандах хрусталоносных жил, хотя фиксируются во всем объеме жильных зон. Их интенсивность зависит от состава пород и нарастает в ряду кварциты → гнейсы и кристаллосланцы → гранитоиды. Мощность зон изменений колеблется от первых см до 5 и более метров. По схеме Н.В. Оганесяна выделяются следующие стадии гидротермальных изменений: серицитизация-хлоритизация (с эпидотом и альбитом), окварцевание-перекристаллизация, выщелачивание, альбитизация и аргиллизация. При этом развитие серицита и хлорита связывается с наиболее ранними этапами гидротермального процесса. Однако согласно другим данным по Южно-Якутской провинции, а также на примере месторождений Урала, Казахстана и Памира, в качестве раннего процесса обычно выделяется окварцевание – перекристаллизация.

Окварцевание и перекристаллизация проявлены соответственно в алюмосиликатных породах и в кварцитах. Перекристаллизованные кварциты слагают чаще всего линейные ореолы на периферии кварцево-жильных зон или развиваются независимо от последних (по-видимому – представляют краевую фацию гидротермальных систем). Обычно пересекаются жилами и прожилками кварца. Представляют собой мелкозернистые породы сахаровидного облика, массивной текстуры, с полигональной структурой. Иногда в них фиксируются мелкие занорыши с плохо оформленными короткостолбчатыми кристаллами кварца. В

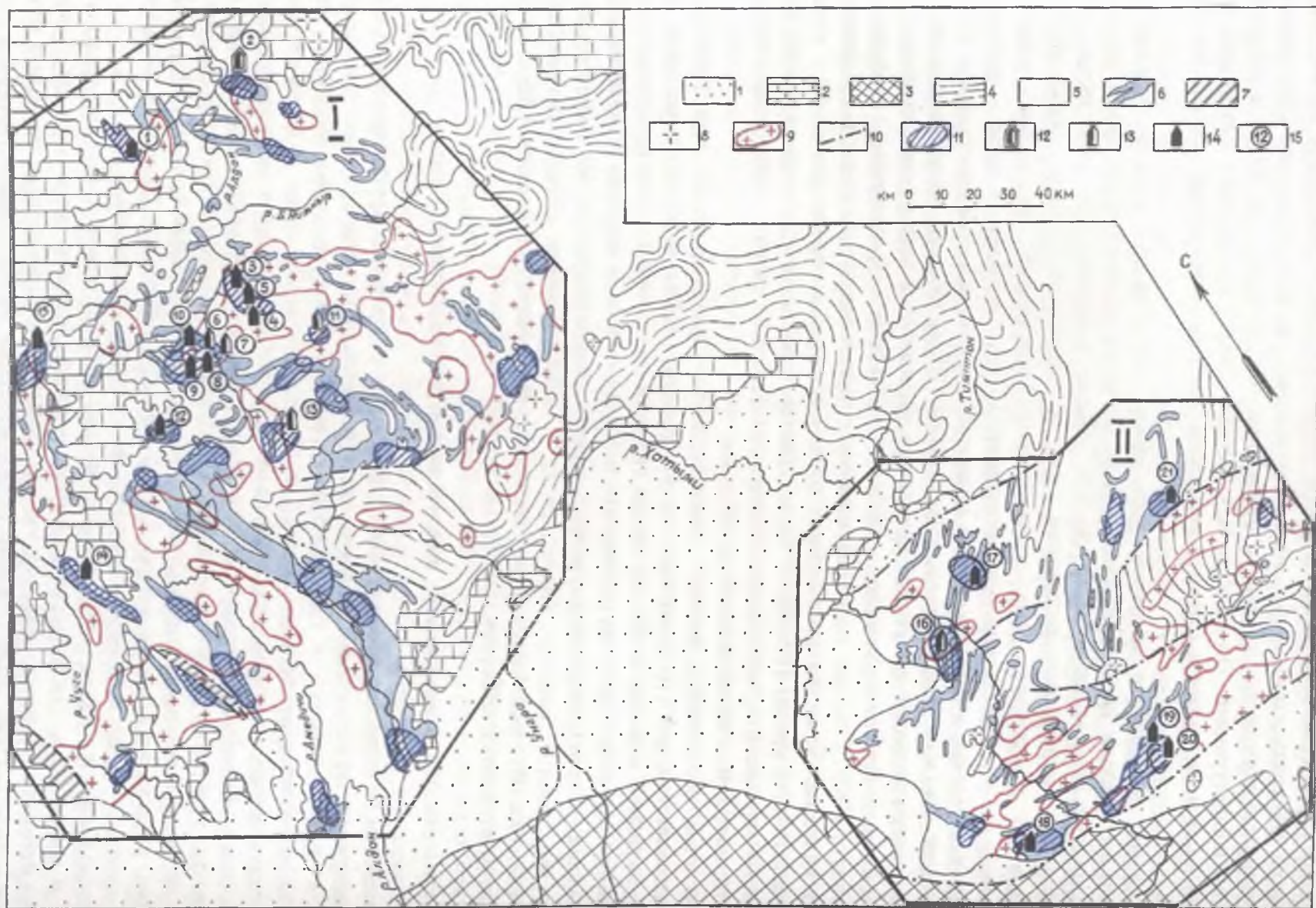


Рис. 13. Карта хрусталености Южно-Якутской провинции (I – Верхне-Алданский район, II – Верхне-Тимптонский район)
Составлена на основе карт Л.Е. Ушверидзе (1967г.) и В.К. Русановича (1969г.)

Верхний структурный этаж: 1 – терригенные отложения мезозойских прогибов; 2 – кембрийские карбонатные отложения платформенного чехла. *Нижний структурный этаж:* 3 – байкалиты Становой области; 4-6 – архейские образования иенгской серии: 4 – гнейсы, гранито-гнейсы, кристаллосланцы, кальцифиры, мрамора федоровской свиты, 5 – гнейсы, глиноземистые гнейсы, кристаллосланцы, гранито-гнейсы верхнеалданской свиты; 6 – кварциты верхнеалданской свиты.

Проблематичные комплексы: 7 – протерозойские образования или слабометаморфизованная верхнеалданская свита. *Магматические комплексы.* 8 – мезозойские гипабиссальные интрузии кислого, среднего и щелочного состава; 9 – площади развития докембрийских интрузий аляскитовых гранитов. 10 – важнейшие разломы, 11 – жильные поля хрусталеносной формации. *Месторождения горного хрусталя:* 12 – крупные, 13 – средние, 14 – мелкие, 15 – номер месторождения по прилагаемому списку: 1 – Николаевское, 2 – Перекатное, 3 – Хрустальное, 4 – Морион, 5 – Горелое; 6-10 – Суонтиитская группа месторождений: 6 – Холодное, 7 – Пять пальцев, 8 – Засуонтиитское, 9 – Пустынное, 10 – Северное; 11 – Таборное, 12 – Тонрак, 13 – Курумкан, 14 – Килерчи, 15 – Малютка, 16 – Малый Нихот, 17 – Бугарыкта, 18 – Окурдан, 19 – Лагерное, 20 – Лукинда, 21 – Модемкёновское.

кристаллах хорошо прочитывается реликтовая структура кварцитов, на месте которых они образовались в результате синхронного действия процессов перекристаллизации и выщелачивания. Зоны окварцевания алюмосиликатных пород фиксируются по резкому возрастанию количества кварца, замещающего исходный субстрат.

Серицитизация (хлоритизация) проявлена в виде новообразований серицита, хлорита, эпидота и альбита прожилкового типа или в виде рассеянных вкраплений. Изменения фиксируются в контурах жильных зон до 20 м от кварцевых жил, не всегда проявляя прямую связь с последними. Обычно доминирует один или два элемента процесса, остальные (чаще эпидот, альбит) лишь отмечаются в общей массе гидротермально-метасоматических новообразований. В частности, альбитизация проявляется в основном в гранитоидах вблизи хрусталеносных гнезд.

Выщелачивание предшествовало и возможно сопровождало хрусталеобразование и наиболее интенсивно проявилось в околожильных кварцитах и иногда в гранитоидах. Мощность ореолов достигает 20 м и прямо зависит от мощности и морфологии хрусталеносных кварцевых жил и зон, при максимальном их развитии вблизи штокверковых тел. Наиболее крупные каверны выщелачивания приурочены к сопряжению тектонически нарушенных кварцитов с дайками гранитоидов. Гнейсы и кристаллосланцы выщелачиваются слабо.

Каолинизация (аргиллизация) связана непосредственно с процессом формирования хрусталеносных полостей, его заключительными стадиями. Ее интенсивность резко возрастает около полостей и в участках повышенной трещиноватости хрусталеносных зон. Основные новообразования – диксит, каолинит, гидромусковит, гематит, в ряде случаев монтмориллонит. Они замещают полевые шпаты или выполняют каверны выщелачивания и открытые трещины. При этом участки развития продуктивной хрусталеносной минерализации характеризуются, как правило, полным замещением первичного субстрата. В слабо хрусталеносных зонах интенсивность каолинизации снижается с сохранением реликтового материала. То же характерно для периферии продуктивных зон. Конечный продукт процесса – структурные каолиновые глины, состоящие из каолинита, небольшого количества серицита и гидрослюда, реликтов кварца и микроклина.

Процессы гидротермального изменения пород развиты крайне неравномерно, зависят от химизма субстрата, морфологии и уровня хрусталеносности жильных образований. Иногда они развиваются автономно, вне зависимости от хрустальной минерализации.

Анализ развития хрусталеносных кварцевых жил и сопровождающих гидротермально-метасоматических изменений показывает двухстадийный характер процессов их становления. Ранняя стадия (высокотемпературная пневматолитовая) проявилась в образовании гидротермально перекристаллизованных сахаровидных кварцитов. Температура

гомогенизации ГЖВ последних составляет 520-540°C, с газонасыщенностью включений около 80%. Поздняя стадия охватывает период формирования кварцевых жил хрусталеносных полостей, с сопровождающими околожилными изменениями. Кварцевая жильная ступень данной стадии проявилась в образовании жильных тел массивного шестоватого кварца, мелочно-белого, непрозрачного, с температурой гомогенизации ГЖВ в интервале 250-550°C. Продуктивная (хрусталеносная) ступень фиксируется образованием хрусталеносных полостей с соответствующей минерализацией. Температура гомогенизации ГЖВ из кристаллов горного хрусталя колеблется от 100 до 320°C, а в отдельных случаях (мелкие прозрачные кристаллы) – в интервале 60-150°C. Установлено понижение температуры гомогенизации и содержания CO_2 в газовой фазе от корневой части к головам кристаллов. Щелочность жидкой фазы возрастает в этом же направлении. Эти данные свидетельствуют о последовательном снижении температуры, газонасыщенности в целом и содержания CO_2 в частности в ходе эволюции минералообразующей среды. При этом процесс становления кварцевых жил и наложенной хрусталеносной минерализации проходил (по Л.В. Оганесяну) без существенных перерывов во времени. Отсюда выделение ступеней минералообразования – достаточно условно. Фактически образование хрусталеносных кварцевых жил рассматривается как единый процесс с закономерным изменением форм выделения кремнезема в зависимости от изменяющихся физических и химических параметров минералообразующей среды. Источником гидротермальных растворов могли служить (по А.Ф. Свириденко, 1976г.) аляскитовые граниты. Существует также точка зрения о связи этих растворов с проявлением в региональном масштабе тектонической метасоматической активизации (Н.Г. Быдтаева, 1983г.), обусловившей формирование достаточно мощных флюидопотоков.

Особенности размещения хрусталеносной минерализации

В границах Южно-Якутской провинции выделено более 45 жильных полей проявленной хрусталеносной минерализацией. Однако промышленно хрусталеносные объекты локализованы только в 12 из них. При этом объектом с крупным месторождением горного хрусталя является лишь Перекатнинское поле (с одноименным месторождением). Месторождения среднего масштаба локализованы в контурах 4 полей: Суон-Тиитском (с средними месторождениями Холодное и Пять Пальцев и мелкими месторождениями Засуонтиитское, Пустынное, Отрада, Северное, Доброе), Кускангринском (с месторождением Таборное), Курумканском (с месторождением Курумкан), Мало-Нихотском (с месторождением М. Нихот). В границах полей Нимгерского, Килерчинского, Калынского, Бугырыктинского, Митингского и Тонракского выявлены лишь мелкие месторождения горного хрусталя (пъезокварца).

Общей закономерностью всех полей и месторождений, а также основной особенностью хрусталепроявлений является приуроченность к пластам и линзам кварцевых верхнеалданской свиты. В то же время для объектов с промышленной минерализацией особенности среднего и крупного масштаба, намечается достаточно строгая приуроченность к определенным геологическим элементам. Исходя из оценки влияния тех или иных факторов на размещение продуктивной минерализации, проведенной на основе системы "Регион", главными элементами контроля минерализации (на уровне узлов и полей) являются:

- своды и участки замыкания купольных структур и брахиантиклиналей (типа Суон-Тиитского купола, Мало-Нихотской и Перекатнинской антиклиналей);
- блоки кварцитов с параметрами (в плане) порядка 2-8 км²;
- площади с достаточно высоким уровнем насыщенности денудационными останками (видимо – фиксирующими определенный уровень гетерогенности литологическую)

субстрата);

- зоны влияния разрывных структур, секущих вмещающие антиклинальные образования;

- зоны влияния подошвы кембрийских (вендских) отложений.

В геофизических полях благоприятные для промышленной минерализации поля фиксируются максимальными значениями градиента Δg и оптимальной интенсивностью радиометрического поля.

Для локальных штокверковых зон важны также своды линейных антиклиналей, границы крупных интрузий гранитов, участки минимумов ΔT сложной формы. Достаточно надежным поисковым признаком промышленной хрусталеносной минерализации является крупнозернистый шестоватый и друзовый жильный кварц.

В морфологическом плане продуктивные жильные образования относятся к четырем основным типам:

- протяженные штокверкообразные зоны (Перекастное, Пять Пальцев);
- линейные крутопадающие зоны (Холодное);
- штокверки (Малый Нихот, Курумкан, Таборное);
- столбообразные жильные тела или зоны (Килерчи, Бугырыкта).

Наиболее значительны по масштабам минерализации зоны первого и второго, реже – третьего типа, хотя относительная продуктивность объектов 3 и 4 типов более высока. Особенности локализации горного хрусталя в пределах месторождений специфичны для каждого из выделенных типов жильных образований.

Приводимые ниже описания хрусталеносных месторождений ориентированы на получение характеристик каждого из морфологических типов продуктивных объектов. Конкретно, как типовые объекты, рассматриваются месторождения Перекастное, Килерчи, Холодное и Малый Нихот.

5.2. Месторождение Перекастное

Месторождение Перекастное расположено на правом берегу р. Алдан, в долине его правого притока руч. Безымянного. Географические координаты: $58^{\circ}29'$ с.ш., $124^{\circ}22'$ в.д.

В качестве хрусталепроявления месторождение известно с 1950 г. (выявлено при поисково-съёмочных работах масштаба 1:50000, проводимых Лейкиным З.С., Юровой Н.Я. и Юровым Г.П.). Поисковые работы на его площади начаты в 1961 г. (Б.М. Дудаков и др.); с 1964 г. месторождение является объектом достаточно интенсивных разведочных и эксплуатационных работ. По результатам предварительной разведки в 1971 г. проведен подсчет запасов пьезосырья до уровня 588 м или 4-го штольневого горизонта (Смутьский И.Я., Саленков Л.Е. и др.), с утверждением запасов в ГКЗ СССР. По результатам детальной разведки в 1983 г. проведен дополнительный подсчет запасов до горизонта 532 м (Пацкевич Г. П., Котов Н.В. и др.) или 8-го штольневого интервала.

В 1992 г. объект был законсервирован в связи с резким падением спроса на природный пьезокварц и рядовой горный хрусталь для плавки.

Геологическое строение

Месторождение Перекастное, как и все промышленные объекты района, залегает в блоке кварцитов верхнеалданской свиты. Кварциты – (мономинеральные, полевошпатовые и силлиманитовые) переслаиваются с гнейсами, кристаллосланцами и гранито-гнейсами и перекрываются последними. Породы верхнеалданской свиты на некоторых участках

перекрыты платформенными отложениями юдомской свиты (конгломераты, гравелиты, доломиты), мощностью до 200 м (рис. 14.).

К магматическим образованиям на площади месторождения относятся граниты архейского возраста, аляскитовые граниты протерозоя и их жильные дериваты; более молодые дайки диабазов также относятся к протерозою.

В структурном отношении месторождение приурочено к ядру Перекатинской антиклинали, принадлежащей Нимныро-Чампулинскому антиклинорию. Антиклиналь представлена линейной складкой с простиранием оси 300° , юго-западное крыло которой осложнено крупной брахиантиклиналью. В ядрах складок обнажены кварциты; крылья сложены гранито-гнейсами и кристаллическими сланцами. Падение юго-западного крыла линейной складки крутое ($50-75^\circ$). Северо-восточное крыло более пологое и осложнено срывами, проходящими вдоль контакта кварцитов и гнейсов.

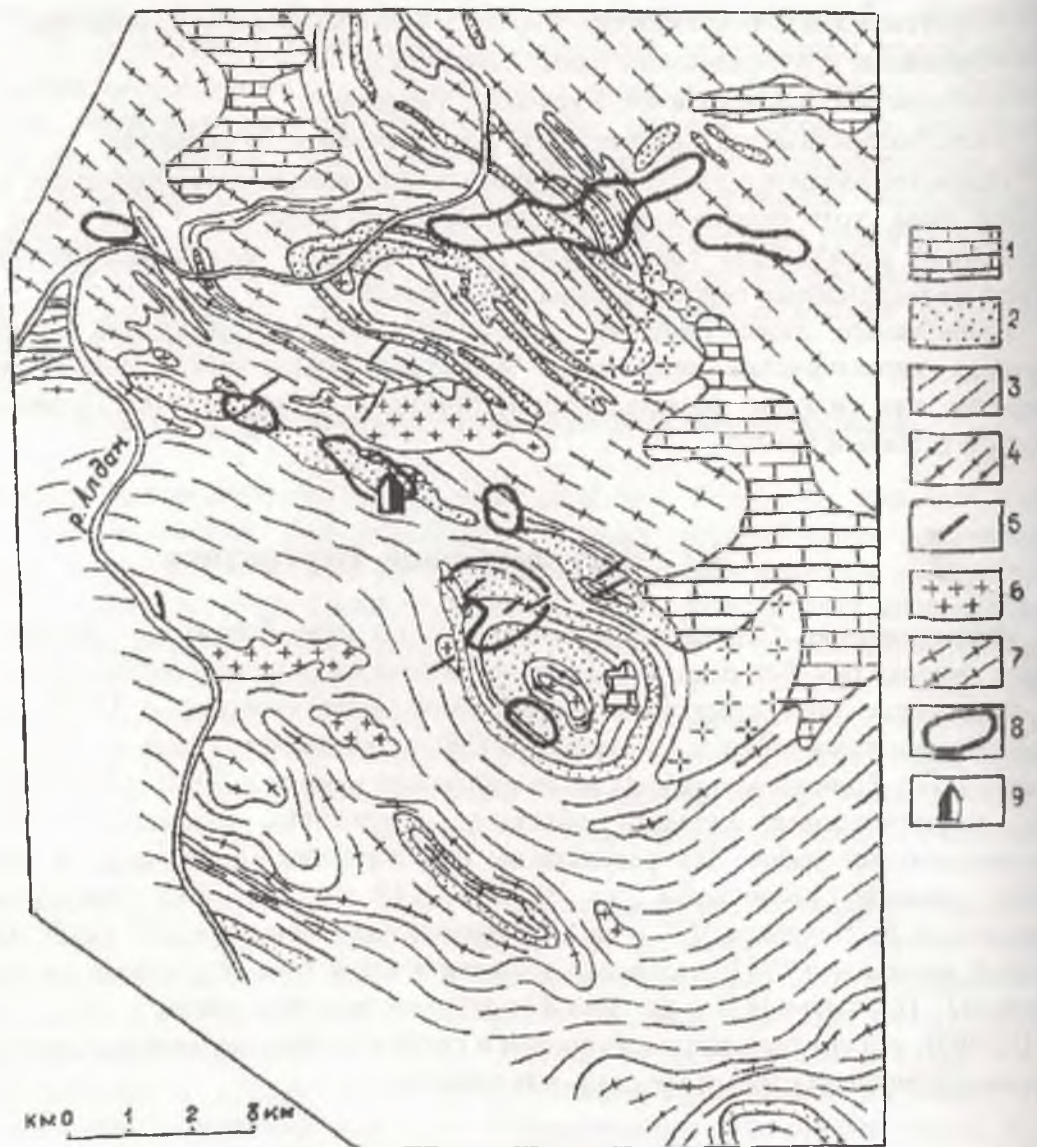


Рис. 14. Месторождение Перекатное (строение жильного узла)

Нижний кембрий. 1 — юдомская свита: доломиты, в основании конгломераты и песчаники. 2 — кварциты; 3 — амфибол-пироксеновые, биотит-гранатовые, силлиманитовые гнейсы и кристаллосланцы; 4 — гранитизированные гнейсы и кристаллосланцы. Интрузивные породы. Протерозой. 5 — диабазы; 6 — аляскитовые граниты; 7 — гранито-гнейсы. 8 — поля и зоны кварцевых жил. 9 — месторождение Перекатное

Дизъюнктивные нарушения выражены зонами повышенной трещиноватости, катаклаза, милонитизации и гидротермальной переработки. Среди них преобладают безамплитудные и малоамплитудные, преимущественно раннего доплатформенного заложения. Характерны нарушения, поперечные к простиранию антиклинальной структуры. Северо-западный поперечный разрыв, фиксируемый мощными зонами перекристаллизации и выщелачивания, осветления кварцитов, рассматривается (Л.В. Оганесян, В.Р. Асоян, Г.П. Пацкевич) как основной рудоподводящий канал Перекатнинского месторождения (поля).

В целом локализация месторождения определяется сочетанием ряда благоприятных структурно-литологических факторов:

- наличием блока кварцитов оптимальных для развития минерализации параметров;
- приуроченностью к выположенной антиклинальной структуре, осложненной потенциальными рудоподводящими и рудораспределяющими дизъюнктивами;
- наличием достаточно четкого структурно-литологического экрана (толща гранито-нейсов);

благоприятными условиями циркуляции гидротермальных растворов внутри кварцитового блока (дайки и жилы гранитоидов, зоны метасоматитов, разноориентированные локальные зоны разрывов и др.).

Общее строение месторождения Перекатное – достаточно сложное. В его границах выделяется 10 кварцево-жильных зон и участков перекристаллизации. Морфологически зоны относятся к вытянутым штокверкообразным системам (рис. 15.).

Хрусталеносная зона № 1, являющаяся основным продуктивным объектом месторождения, контролируется трещинной системой СЗ простирания (320°) и имеет крутое ОЗ падение. Зона вскрыта карьерами и серией штольневых горизонтов до глубины 240 м. Протяженность зоны с поверхности 380 м, на втором штольневом горизонте – 580 м; мощность – 60-100 м. Зона разбивается на 19 жильных ветвей, из которых только 4 выходят на поверхность. Положение и ориентировка отдельных ветвей контролируется локальными нарушениями и зонами трещиноватости, дайками гранитоидов; иногда ветви приурочиваются к зальбандам диопсид-волластонитовых жил.

Каждая ветвь чаще всего представляет собой вытянутый штокверк, состоящий из разноориентированных кварцевых жил и прожилков; преимущественно пологозалегающих, согласных с общим залеганием ветви (рис. 16). На хрусталеносных участках штокверка пологие жильные тела, в т.ч. поперечные к простиранию ветвей, преобладают.

Наиболее крупной в зоне № 1 является ветвь А. На поверхности она имеет длину 380 м при средней мощности 20 м и разделена на 2 участка (СЗ и ЮВ), с промежуточным интервалом в 65 м. Её положение определяется тектоническим швом, круто падающим по аз. 230°

Кварцево-жильный материал распределен в границах зоны и ветвей неравномерно, образуя обогащенные узлы, состоящие на 40-60% из блоков вмещающих пород, разделенных жильными телами. Узлы вытянуты по простиранию зоны, их длина – 30-50 м. Жильные тела – самой разнообразной формы. На ЮВ фланге ветви А доминируют минерализованные трещины, с тонкой кварцевой оторочкой в зальбандах.

На месторождении преобладают нехрусталеносные и слабо хрусталеносные жильные зоны, часто – поперечные к общему простиранию месторождения, имеющие длину от 20 до 240 м при мощности до 7 м. Они сложены маломощными (до 0,4 м) жилами и прожилками пестоватого кварца и перекристаллизованными кварцитами. В зонах отмечаются небольшие хрусталеносные полости объёмом до 1 м^3 ; но наиболее характерны занорыши, анкрустированные мелкими кристаллами и занимающие в жилах осевое положение. Встречены они и в зонах перекристаллизованных кварцитов.

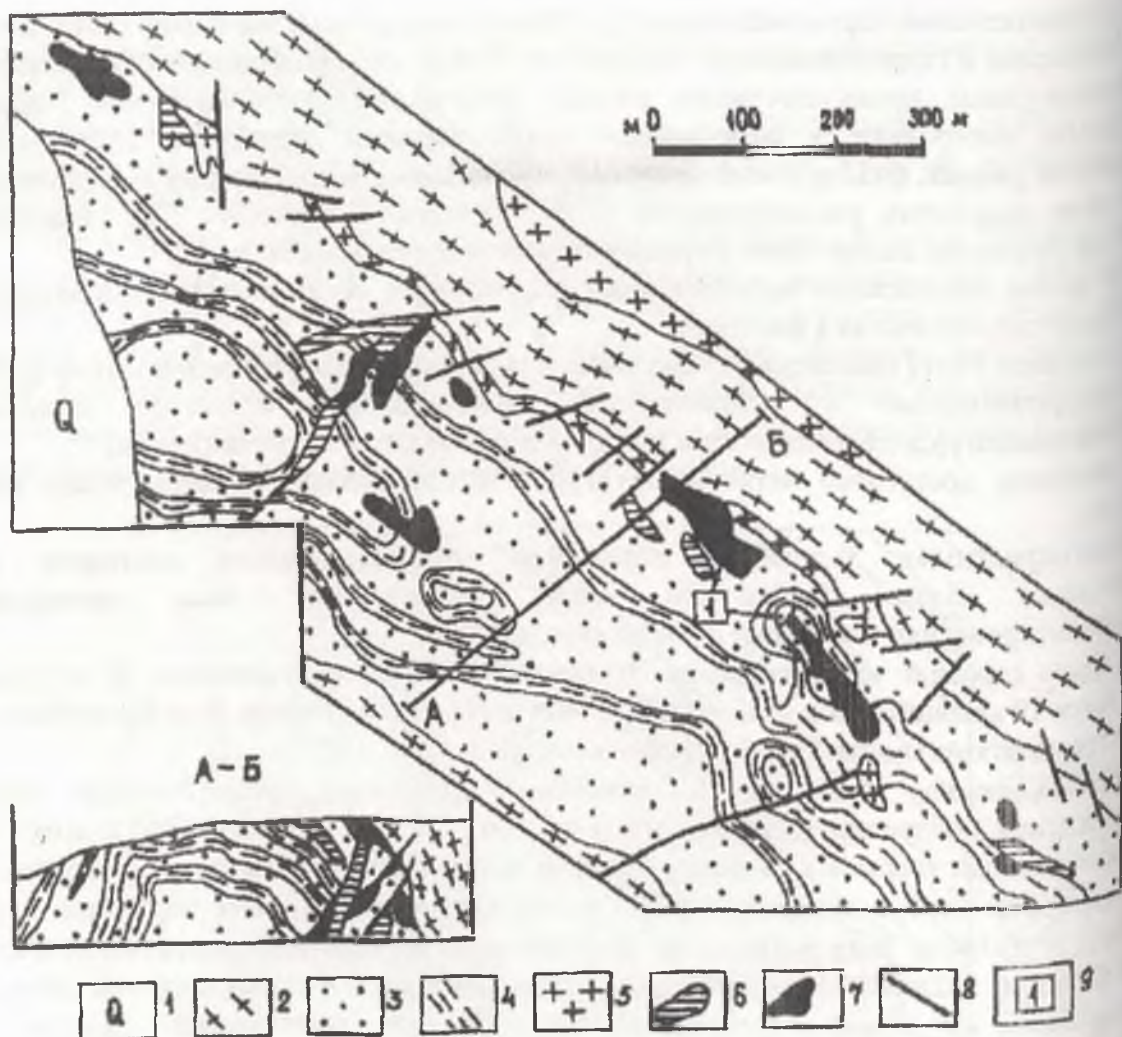


Рис. 15. Геологическая карта месторождения Перекатное
(по И.Я. Смольскому, 1964 г)

1 – четвертичные отложения. Архей, верхнеалданская свита: 2 – амфибол-пироксеновые, биотит-гранит, силлиманитовые гнейсы и кристаллосланцы. Архей, нимгерканский горизонт верхнеалданской свиты: 3 – кварциты. 4 – переслаивание кварцитов с гнейсами и кристаллосланцами; 5 – аляскитовые кварциты. 6 – гидротермально измененные кварциты. 7 – кварцево-жильные зоны. 8 – разломы. 9 – обозначение кварцево-жильной зоны № 1

Характеристика хрусталеносной минерализации

Для жильного кварца месторождения характерно разнообразие текстурно-структурных разновидностей, хотя преобладает шестоватый кварц, в том числе крупно-гигантозернистый с длиной шестов до 70 см. Минералогический состав примесей и набор загрязняющих химических элементов идентичен остальным месторождениям провинции. По запасам горного хрусталя месторождение Перекатное является единственным крупным объектом Южно-Якутской провинции. Преимущественным развитием пользуется собственно горный хрусталь – бесцветный водяно-прозрачный. Менее распространены раухтопазы, слабодымчатой до густой "чайной" окраски. Встречаются также светло-желтые и зеленоватые золотистые цитрины, а также смоляно-черные разновидности, близкие к мориону. Окрашенные кристаллы обычно зональные. Все они извлекаются из полостей, расположенных на контактах кварцитов с гранитоидами или глиноземистыми гнейсами.

Около половины добытого кристаллосырья имеет призматический габитус с соотношением $L_2:L_3 = 2:3 - 1:3$. В меньших количествах и в примерно равных соотношениях

проявлены кристаллы длиннопризматические, короткопризматические и обелисковидные. Обычно в каждой полости характерным является какой-то один тип габитуса. Средняя длина кристаллов 10-20 см; отдельные индивиды достигают 170 см и являются крупнейшими в провинции. Для северо-западной и центральной части жильной зоны № 1 характерны друзовидные сростки кристаллов, для юго-восточной части – параллельные срастания.

Основными дефектами пьезооптического сырья месторождения является замутненность ГЖВ, как правило – в корневой части кристаллов, и развитие бразильских двойников. Однако обычно эти двойники поражают нижнюю треть кристаллов и охватывают его периферическую часть на глубину 1-15 мм, что не столь существенно снижает качество сырья. Дофинейские двойники сравнительно редки. Минеральные включения не характерны. Поверхностные "рубашки" кристаллов – глинистые, глинисто-охристые, железистые. Химсостав кристаллосырья характеризуется относительно высокими по сравнению с сырьём других месторождений провинции содержаниями *Al* и щелочей (табл. 5.1.), чем и определяется ограниченное применение горного хрусталя месторождения Перекатного в качестве плавочного сырья. Зараженность кристаллов *Al* и щелочами прямо зависит от вмещающих пород и резко возрастает вблизи гранитоидов и кристаллосланцев. Качество получаемого пьезооптического сырья – среднее из-за преобладания малоразмерных кристаллов (табл. 5.2.)

Особенности хрусталеносности месторождения

На месторождении представлены все типы хрусталеносных полостей. *Остаточные полости* приурочены как правило к раздувам наиболее мощных жил и участкам пересечения жильных тел. *Полости тектонического происхождения* тяготеют к юго-восточной части жильной зоны № 1 и представлены как минерализованными трещинами в кварцитах, так и полостями повторных трещин сдвигового и отрывного типа в кварцевых жилах. Минерализованные трещины имеют длину до 3 м, мощность до 0,5 м и обычно инкрустированы друзовыми сростками, в том числе с высокими декоративными качествами. Повторные трещины в жильных телах развиваются вблизи зон разломов. Горный хрусталь в них нарастает на жильный кварц, регенерируя сколы листоватых агрегатов. Объем трещинных полостей достигает десятков м³. Сырьё в них качественное, обеспечивающее достаточно высокий выход пьезокварца и плавочного горного хрусталя. *Полости растворения* широко распространены в жильной зоне № 1 и содержат основные запасы пьезосырья месторождения. Средние их размеры – в пределах 5х15 м³, максимальные объёмы многокамерных полостей – до 2000 м³ и более. Крупные полости имеют своды обрушения, обуславливающие накопление в их нижних частях обломочного материала вмещающих пород вперемешку с друзами кварца, а в зальбандах – развитие сводовых трещин (рис. 17.). Полости растворения являются источником наиболее качественного кристаллосырья.

Гнездовое выполнение полостей всех типов – обычное для большей части данных образований провинции – горный хрусталь, дресва кварцитов, песчано-глинистый и глинистый материал (каолин, гидрослюда, хлорит, серицит, гидроокислы *Fe* и *Mn*; в различных соотношениях). Особенностью месторождения Перекатное является наличие барита в полостях наиболее глубоких горизонтов, как правило – малопродуктивных.

Сопровождающие зоны гидротермальных изменений являются по сути гиповыми для месторождений Южно-Якутской провинции. Ранние изменения с новообразованиями серицита, хлорита, альбита и эпидота фиксируются на расстоянии до 20 м от жильных тел. Окварцевание и перекристаллизация развиты в интервале до 1,5 м от зальбандов. Ширина ореолов выщелачивания достигает первых десятков метров. Окологнездовые изменения

(альбитизация и в еще большей степени аргиллизация) развиты в максимальной степени по полевошпат-содержащим породам, проявляясь в объемном и прожилковом вариантах.

Химический состав элементов-примесей горного хрусталя Южно-Якутской провинции

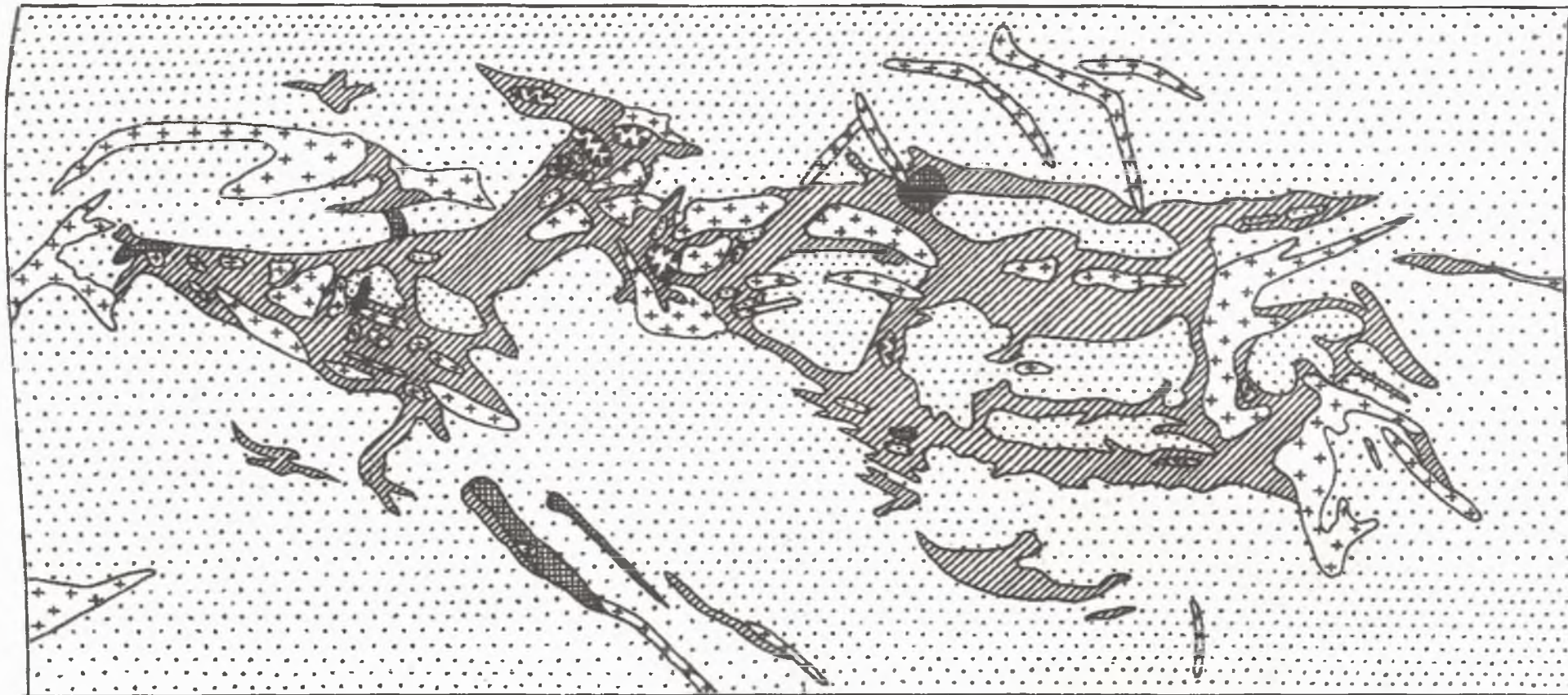
Месторождения	Содержание элементов-примесей, n 10 ⁻⁴ %							
	Al	Fe	Ti	Mg	Mn	Cu	Na	K
Перекатное (ср/мин)	224	3.7	02	1.5	0.2	0.1	6.2	17.2
	6.3	1.0	0.06	0.4	0.01	0.01	1.4	4.5
Малый Нихот	110	4.0	2.9	0.4	0.4	<0.4	3.9	7.8
	10	1.0	0.06	0.1	0.1	0.02	0.6	1.4
Килерчи	3.4	2.5	5.0	2.0	5.5	-	2.0	4.6
	2.5	0.6	<3.0	0.8	3.0		1.1	2.1
Холодное (1 проба)	160	10	<3.0	5.6	0.5	0.1	11.0	33.0

Сортность пьезосырья месторождений Южной Якутии

Месторож- дения	Выход пьезокварца (% от общих запасов) по сортам							Горный хруст для плавки (с учета химсоста	
	Оп- тика	Экс- тра	Высший	I	II	III	Маломерные кристаллы (данные 50- 60-х годов)	I	II
Перекатное	0.2	0.9	10.1	24.8	64.0	-		44.5	21.3
Малый Нихот	-	1.1	20.7	27.6	18.4	1.25	30.8	34.3	65
Килерчи (данные до 1966г)	-	-	26.0	36.0	19.0		19.0	38.0	62
Холодное	-	-	56.5	6.6	6.1	1.8	29.0		

Размещение хрусталеносной минерализации в контурах месторождения имеет особенности. Из сопоставления средних содержаний пьезокварца по секциям опробованных различных горизонтах жильной зоны № 1 выделен целый ряд обогащенных участков имеющих характер "рудных столбов". "Столбы" находятся на разных гипсометрических уровнях и имеют различную протяженность по вертикали. Средние их размеры 30х60 м, доминирующем вертикальном залегании. Положение "столбов" определяется следующими факторами: мелкие куполовидные складки, сопряжения разноориентированных элементарной структуры – тектонических швов, пегматитовых и волластонитовых жил. Из суммарный объем которых составляет половину объема жильной зоны, извлечено моноблоков пьезокварца.

Специфической особенностью "рудных столбов" месторождения Перекатное является постоянная связь с вышерассмотренными полыми рудоподводящими каналами. По Н.В. Котова эти каналы прослеживаются через все сечение месторождения, захватыва



м 0 5 10 15 20 м



Рис. 16. Месторождение Перекатное. План жильной зоны №1 (по И.Я. Смульскому и др., 1971г.)

1 – кварциты мономинеральные и фельдшпатизированные. 2 – жильная фация аляскитовых гранитов. 3 – массивный жильный кварц. 4 – шестоватый и друзовый жильный кварц. 5 – хрусталеносные полости

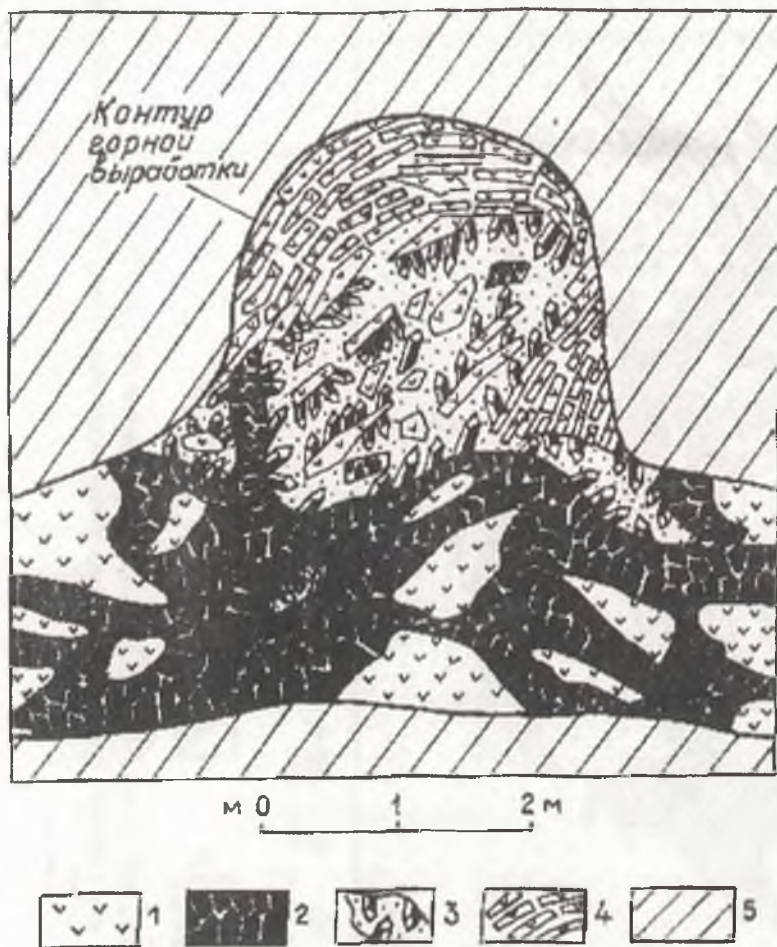


Рис. 17. Хрусталеносная полость с куполом обрушения (зарисовка по горной выработке); типовой вариант

1 – кварциты. 2 – жильный кварц шестоватой и друзовой структуры. 3 – полости с кристаллами горного хрусталя. 4 – «расщеленные» плитчатые кварциты в своде купола. 5 – пространство за контуром горной выработки

приповерхностного интервала и средней части месторождения на 4-м штольневом горизонте прослеживалось снижение и уровня кварценосности зоны, и содержаний хрусталеносной минерализации. То же отмечается на наиболее глубоком, 10-м горизонте штолен, где сокращается и фронт минерализации, и насыщенность горным хрусталем. К тому же на 10-го горизонта за счет дренирования пойменных вод р. Алдан повышается обводненность месторождения. Это обуславливает выводы о том, что месторождение на глубину (ниже разведанного интервала) перспектив не имеет.

По разведанным и частично отработанным запасам пьезокварца месторождение Перекатное относится к крупным объектам, являясь после Астафьевского, вторым на сегодняшний день реальным, полностью подготовленным к отработке источником пьезоэлектрического кварца и в определенной мере, горного хрусталя для плавки. По пьезокварцу оно содержит около 11% всех разведанных запасов России, по горному хрусталю для плавки – около 17%.

Основные технико-экономические характеристики месторождения приведены в таблице 5.3. В результате выполненных ГРП данный объект разведан практически в полном объеме; реальные перспективы расширения его масштабов отсутствуют.

4 горизонтов. Как правило это наклонные извилистые трубообразные структуры длиной до 60-70 м и сечением до 0,8-1,0 м. Общее число прослеженных "труб" в месторождении — около 20. Фактическое же их число видимо, значительно больше. Ранее эти образования не фиксировались, в связи с чем данные об их развитии в верхней части месторождения крайне ограничены. Тем не менее, связь с ними "рудных столбов" проявлена достаточно наглядно и подтверждена практикой разведочных эксплуатационных работ. Развитие этих каналов проводилась, с положительными результатами, оценка на горных хрусталь межгоризонтных блоков продуктивной части месторождения.

В целом месторождению Перекатное (в жильной зоне № 1) характерно распределение продуктивной минерализации, наметившееся своеобразная вертикальная зональность. При высокой продуктивности

Таблица 5.3.
Основные технико-экономические характеристики месторождений Южной Якутии

Наименование <u>показателей</u>	Перекатное	Килерчи	Малый Нихот	Холодное
Содержание полезного компонента на продуктивную массу):				
пьезокварц, г/м ³	28,0	357,0	19,5 (61,0 на ж. м.)	32,0
горный хрусталь для плавки, кг/м ³	2,1	до 3,0	0,15 (0,36 на ж.м.)	-
Выход из кристаллосырья (%):				
пьезокварц	0,85	1,0	-	-
горный хрусталь для плавки	60	до 10	-	-
Предельный K _{вскрыши}	2,2	-	~1,5	-
Система отработки	Комбиниро- ванная	Подземная	Открытая	Комбиниро- ванная
Глубина отработки, м	170	25	24	Разведано до 120м
Минимальная мощность жильных тел, м	0,2	0,3	0,1-2,0	Зона 2,5 м
Объем блоков подсчета запасов, м ³	-	~840	36000	118750
Среднеприток в выработки, м ³ /час	до 200	-	нет	-
Уровень грунтовых вод, м	0,0-2,0	-	-	-

5.3. Месторождение Килерчи

Месторождение Килерчи находится на западной окраине Верхне-Алданского улусаносного района. Оно расположено на правом берегу верхнего течения р. Чуги и имеет координаты 122°46' в.д., 55°48' с.ш.

Первые сведения о наличии здесь горного хрусталя получены в 1943г. Разведочные работы проводились в 1944-1947 и 1951 гг. и в дальнейшем были возобновлены в 1955-56гг, по их результатам проявление было признано бесперспективным. Однако при поисково-разведочных работах 1964г. с одного из объектов Килерчинского проявления было получено тонны высококачественного сырья, давшего около 70 кг моноблоков пьезокварца. Всего на проявлении в качестве перспективных были выделены 3 объекта (№№ 2, 7, 20). В дальнейшем при проведении поисково-разведочных работ на Килерчинском жильном поле промышленное значение минерализации было подтверждено только для проявления № 20. Уровень запасов пьезокварца которого соответствовал масштабам мелкого месторождения.

Геологическое строение

Месторождение залегает в породах верхнеалданской свиты, представленной тремя горизонтами. Первый горизонт развит на западе участка месторождения и сложен гранито-гнейсами с подчиненным количеством амфибол-биотит-плагиоклазовых гнейсов и кристал-

лосланцев, а также единичными прослоями полевошпатовых кварцитов. В прослеживается в средней части площади в виде субмеридиональной полосы шириной 1,5 км. Он сложен кварцитами (мономинеральными, полевошпатовыми, слюдяными, силлиманитовыми) с редкими прослоями амфибол-биотитовых и высокоглиноземистых гнейсов. К востоку от кварцитов залегает второй гранитогнейсовый горизонт, отличающийся от первого значительным количеством высокоглиноземистых гнейсов и сланцев, отсутствующих в первом. Из магматических пород выделяются аляскитовые граниты и пегматиты. По сравнению с другими полями Верхне-Алданского района, граниты на данной площади имеют ограниченное развитие.

Структура локализирующего блока трактуется в двух вариантах. Первый предполагает моноклинальное залегание всех трех выделенных горизонтов с крутым ($45-75^\circ$) падением на восток. Согласно второму варианту кварциты составляют ядро изоклинальной складки (антиклинали), в крыльях которой залегают гранито-гнейсы.

Дизъюнктивные нарушения широко развиты на контакте кварцитов с гранитогнейсовыми горизонтами и представлены малоамплитудными межпластовыми сбросами. Помимо этого, кварциты и, в меньшей степени, гранито-гнейсы рассечены субмеридиональными, С-В, С-З и субширотными разломами. Хотя вдоль разломов отмечаются милониты, каталогические гидротермальные изменения пород, перемещения по ним незначительные. В месторождении Килерчи на фоне остальных месторождений провинции выделяется повышенной густотой разломной сети.

Характеристика кварцево-жильной хрусталеносной минерализации

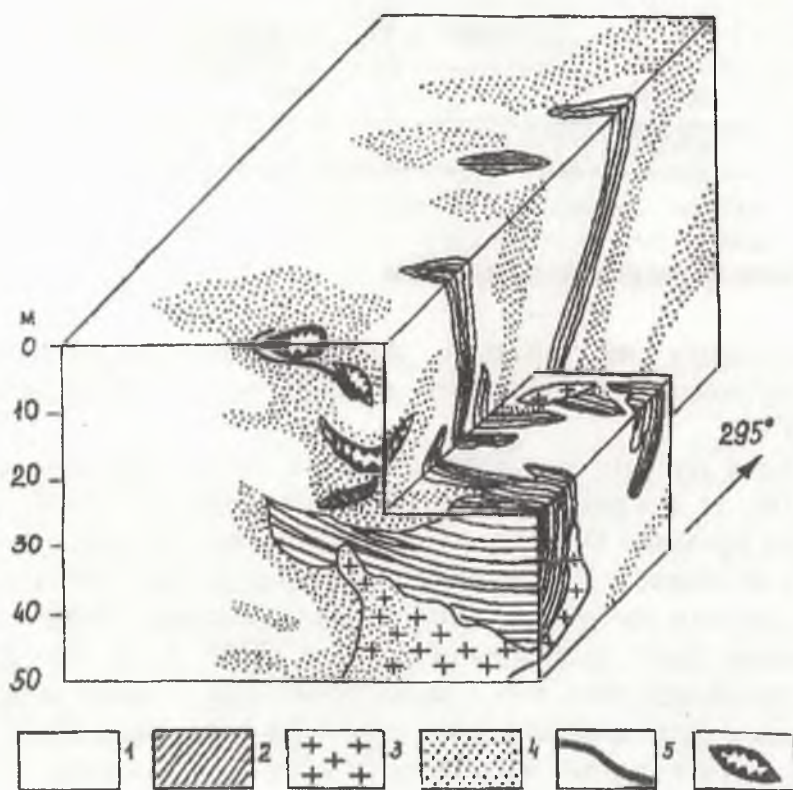


Рис. 18. Блок – диаграмма месторождения Килерчи (составил Н.П. Костелов по материалам В.К. Русановича)
1 – кварциты. 2 – глиноземистые гнейсы. 3 – аляскитовые граниты. 4 – гидротермально измененные породы. 5 – кварцевые жилы. 6 – хрусталеносные полости

На Килерчинского жильного известно около 49 проявлений жильного кварца. Практически все они залегают в кварцитах и вписываются в субмеридиональную зону размером $11 \times 1,5$ км. Наиболее перспективными объектами были выработками. Из них был обнаружен хрусталь.

Все проявления Килерчинского поля свести к трем типам. К первому относятся достаточно крупные (до 60×70 м) штокерки, сложенные жилами преимущественно субширотного простирания. Жилы многочисленные, небольшие, занорыши (не $0,2 \times 0,3 \times 0,7$ м) с кристаллами кварца. Кристаллы сильно трещи-

ваты, насыщены газово-жидкими включениями и бесперспективны в отношении пьезосырья.

Второй тип представлен короткими и мощными (до 3 м) одиночными жилами простой плитообразной формы. Сложены они хорошо раскристаллизованным шестоватым, иногда друзовым кварцем и могут содержать небольшие одиночные гнезда. Околожилные изменения вмещающих кварцитов для этого типа жил, а также для предыдущего, нехарактерны. Хотя обнаруженные полости и несут иногда значительное количество горного хрусталя, кондиционные кристаллы в них практически отсутствуют.

Третий тип представлен системой жил (проявления № 2 и № 20), приуроченной к мощным зонам гидротермального изменения пород. Эти образования заключают в себе крупные погребов с высококачественным кристаллосырём. При этом на проявлении № 20 объём погребов значительно превосходит суммарный объём кварцевых жил. Проявление № 2 глубоко эродировано и было практически отработано при производстве ГРП. Таким образом, единственным промышленно значимым объектом Килерчинского жильного поля оказалось проявление № 20. Это проявление относится к разряду мелких промышленных объектов, однако интересно в качестве примера одного из морфологических типов месторождений — жильных столбов.

С поверхности место-рождение представляет собой крупный, сложнопо-строенный многокамерный погреб, состоящий из субгоризонтальных щеле-видных полостей, связанных между собой минерализованными трещинами северо-западного, иногда северо-восточного прости-рания (рис. 18.). Перемычки между полос-тями сложены интенсивно изменёнными кварцитами. Жильный кварц практически отсутствует. Друзы горного хрусталя нарастают непосредственно на кварцитах. На глубине 4 метра от поверхности появляются горизонтальные жилы мощностью 15-20 см, сложенные друзовидным кварцем. Кварциты, вмещающие жилы, интенсивно изменены. По направлению на северо-восток жилы, плавно изгибаясь, приобретают падение 45-50°. Над перегибом жил размещается крупная трубообразная полость диаметром около 2 м при длине в 6 метров. Полость погружается согласно падению подстилающих кварцевых жил. Над полостью залегает толща раздробленных кварцитов мощностью около 2,5 м. Кварциты интенсивно изменены, брекчированы и сцементированы бурой глиной, содержащей редкие обломки горного хрусталя.

Кварцевые жилы, подстилающие систему полостей в верхней части месторождения, вскрыты также штольневом горизонтом на глубине 25 м. Здесь с ними оказались связанными только мелкие полости, залегающие непосредственно в жилах и выполненные в основном песчано-глинистым материалом. Продуктивная минерализация на горизонте 25 м не обнаружена. Однако между штольневом горизонтом и поверхностью была разбурена крупная хрусталеносная полость размером 5x15 м. Она является как бы продолжением на глубину приповерхностной системы полостей и образует совместно с ней жильный столб. В первом приближении жильный столб можно представить, как изометричный в плане шток с поперечным размером 10 м, погружающийся на СВ под углом 50° до глубины 20 м.

Характерной чертой Килерчинского месторождения является резкое преобладание суммарного объёма хрусталеносных гнезд над объёмом кварцевожильной массы. Гнёзда, скорее всего, являются полостями растворения кварцитов. При растворении перерабатывались участки дробления кварцитов, фрагменты которых сохранились висячем борту одной из полостей.

Кристаллы кварца Килерчинского месторождения отличаются крупными размерами, достигая 60 см в длину при поперечнике 20 см. Средние размеры 15-20 см в длину, при толщине призмы 5-8 см. Габитус длиннопризматический и обелисковидный; встречаются булавовидные формы. Кристаллы бесцветные водяно-прозрачные. Основным дефектом является трещиноватость; вторым по значимости — облачная и хлопьевидная муть. Дофинеи и бразильские двойники достаточно редки и поражают, как правило, только

поверхность кристаллов. Свилеватые кристаллы для данного месторождения не характерны.

Эти особенности определили высокие характеристики полученного на месторождении сырья, по сути — лучшего в районе. Получаемый пьезокварц на 2/3 представлен высокосортным сырьем (высший и I сорта составляют 62%). При высокой химической чистоте кристаллов (табл. 5.1.) из них обеспечивается высокий выход лучшего в промышленности плавочного сырья (38% относится к I сорту) как по физическим, так и по химическим характеристикам.

Околожилные изменения

Процессы гидротермального изменения вмещающих пород на месторождении распространены широко. Они откартированы как с поверхности, так и в объеме месторождения. Поверхности ореол измененных пород занимает площадь 50х90 м и вытянут в Ю-В направлении. В его пределах переработанные породы составляют около 30-40% объема вмещающих пород. Образуют разобщенные участки, отчетливо уплощенной формы, залегающие согласно с основной структурой пород. Изменению подвержены кварциты (выщелачивание и каолинизация) и также редкие тела аляскитовых гранитов. Линзы глиноземистых гнейсов, заключенные в кварцитах, практически не преобразованы. Форма и распределение тел гидротермальных изменений позволяют предположить, что выщелачиванию и каолинизации подвергались определенные слои кварцевой толщи, отличающиеся повышенной трещиноватостью или другими особенностями состава и структуры. Наиболее крупный и морфологически сложный ореол измененных пород расположен в Ю-В конце ореола и включает внутри себя жильный столб (систему хрусталеносных полостей). Он имеет форму штока с поперечным размером 20-30 м, залегающего согласно с жильным столбом. Последний в структуре гидротермальных метасоматитов занимает центральное положение. На глубине 25-30 м выщелоченных кварцитов упирается в мощную линзу неизмененных глиноземистых гнейсов. Под линзой гнейсов, а также в области её выклинивания, породы (кварциты, аляскитовые граниты) вновь подвержены позднейшей переработке, однако кварцевые жилы практически не содержат.

Соразмерные с вышеописанными, а также более мелкие зоны измененных пород широко развиты к С-З от жильного столба, однако лишь некоторые из них содержат одиночные кварцевые жилы. Этим подтверждается закономерность, известная и на других месторождениях провинции и выражающаяся в автономном развитии ореолов изменений пород и лишь частичном совмещении их с хрусталеносными и кварцево-жильными образованиями.

Продуктивный ореол изменения, вмещающий жильный столб, приурочен к наиболее сложному в структурном отношении участку месторождения. Он подстилается крупным из обнаруженных тел глиноземистых гнейсов (по всей видимости это "плава" — замок изоклинальной складки), которое в свою очередь подпирается снизу штокообразным телом аляскитов. Имеются все основания связывать продуктивность данного ореола с экранирующим влиянием глиноземистых гнейсов. Однако этот вывод влечет за собой следующее: глиноземистые гнейсы могли играть роль экрана только при нисходящем токе растворов.

Перспективы месторождения

Подсчитанные запасы месторождения составили 300 кг моноблоков. По состоянию на 1988г. месторождение было отработано наполовину.

Разведка более глубоких горизонтов, несмотря на наличие благоприятных предпосылок для обнаружения промышленной минерализации, признана нецелесообразной, т.к. с

горнотехнические условия делают отработку глубоких горизонтов экономически невыгодной. Хотя по уровню концентрации полезного ископаемого месторождение имеет наилучшие параметры в Южно-Якутской провинции (табл. 5.3.).

5.4. Месторождение Холодное

Месторождение Холодное находится в Алданском районе республики Якутия и расположено на левом берегу р. Алдан, несколько севернее его левого притока р. Суон-Тиит. Географические координаты: $58^{\circ}05'$ с.ш., $123^{\circ}40'$ в.д. Ближайшим населенным пунктом является пос. Юхта, расположенный в 90 км к Ю-В.

Месторождение разрабатывалось в течение 20 лет (1941-1960 гг.). Суммарная добыча составила 3,8 т моноблоков пьезокварца. Сырье месторождения являлось высоким по качеству, и в целом по добыче объект оказался одним из наиболее продуктивных в Южно-Якутской провинции. Сведения по Холодному представляют особую ценность в связи с тем, что здесь минерализация прослежена на значительную глубину (120 м) и надежно подсечена нижняя граница хрусталеобразования. Это дает возможность проследить вертикальную зональность минерализации.

Месторождение обнаружено в 1941 г. геологом Нимгерской экспедиции Треста № 13 С.М. Пашковым. Удачное расположение первого шурфа, вскрывшего хрусталеносную полость на глубине 2 м, а также условия военного времени диктовали необходимость ускоренного включения объекта в разведочно-добычные работы. В военные годы получено ограниченное количество сведений о строении месторождения, несмотря на значительный объем проведенных горных работ. Систематическое изучение начато в послевоенный период. Первые представления о строении месторождения и включающего его жильного поля изложены Г.П. Петруниным и Г.В. Меркуловой в 1947 г. В 1951 г. Л.Е. Ушверидзе и Г.Н. Рюриковым составлен геологический разрез-проекция по простиранию месторождения, на котором впервые определилось его "дно", фиксируемое пачкой гранитизированных пород. Указано на необходимость изучения объекта ниже гранитизированных пород, для подтверждения отсутствия второго этажа месторождения. В 1956 г. добыча сырья начала неуклонно падать, в этом году впервые применено разведочно-поисковое колонковое бурение. В 1959 г. заложен нижний штольневый горизонт № 15 и впервые проведены геофизические работы (радиометрия). Радиометрические аномалии не обнаружены. В 1960 г. (последний год работ на месторождении) штольня № 15 прошла целиком по непродуктивному фельдшпатизированному кварциту с большим количеством пегматитовых жил. По нарушениям и зальбандам пегматитов установлены выщелачивание и перекристаллизация, иногда апопегматитовые глины, в которых отмечены только одиночные темно-дымчатые кристаллы кварца. Жильный кварц не встречен.

Таким образом, за 20 лет существования месторождение было изучено и полностью отработано как по простиранию жильной зоны, так и на глубину. В 1962-64 гг. на Холодном проводились работы тематической направленности (Ушверидзе Л.Е., Смутьский И.Я. и др.), обобщившие полученный ранее фактический материал.

Месторождение Холодное в той или иной степени освещалось в печати. Наибольшее количество статей по этому вопросу принадлежит Е.Н. Лазько. Н.П. Ермаков разрабатывал термометрические методы исследования, используя кристаллы месторождения.

Геологическое строение площади месторождения

Месторождение Холодное входит в состав крупного Суон-Тиитского жильного поля, занимающего осевую часть и С-В борг одноименного антиклинория (купола). Поле имеет

площадь около 70 км², и кроме указанного, включает еще ряд месторождений горнохрусталя: Пять Пальцев, Отрадное, Засуонтиитское, Доброе, Северное, Пустынное (рис. 19). Структура Суон-Тиитского антиклинория достаточно сложная и характеризуется сочетанием элементов купольной и линейной складчатости при незначительной роли разрывной тектоники. Линейные складки представлены преимущественно синклиналями север-восточного, субширотного и меридионального простирания, разделяющими купол. Положение отдельных жильных зон в пределах поля и их ориентировка в значительной мере контролируется элементами линейной складчатости. Преобладающей ориентировкой жильных зон и отдельных жил является субширотная и широтная, типичная для Южно-Якутской хрусталеносной провинции в целом.

Месторождение лежит на оси Холоднинской синклинали – широтной суббрахизальной складки, осложняющей С-В борт антиклинория. Холоднинская синклиналь в свою очередь имеет следующие структурные осложнения.

1. Разрыв оси складки на западном замыкании и ее смещение на 500 м вдоль меридионального разлома.

2. Резкая смена широтного простирания оси на меридиональное в районе восточного замыкания складки.

3. Ундуляция шарнира под воздействием наложенной пологой меридиональной складки. Вдоль осевой плоскости основной складки в зоне ундуляции ее шарнира развивается узкая зона трещиноватости, которая и является жиллокализующей структурой.

Холоднинская синклиналь пересекается серией пегматитовых даек, имеющих основном субмеридиональное простирание.

Месторождение залегает в породах верхнеалданской свиты. По данным Ушверидзе Л.Е. и др. (1964г.) здесь выделяются четыре пачки пород (сверху вниз):

- а) верхняя гранитогнейсовая с крупными линзами кварцитов (видимая мощность 1200 м),
- б) средняя кварцитовая (мощность 200-1500 м),
- в) нижняя гранитогнейсовая (мощность 200-500 м),
- г) нижняя кварцитовая (видимая мощность 750 м).

Верхняя гранитогнейсовая пачка включает мощные кварцитовые линзы, одна из которых и вмещает месторождение Холодное. Линза имеет мощность 700м и довольно пестрый состав. В ее средней части залегают 2 горизонта: гранито-гнейсовый и кварцитовый мощностью 300 и 200м соответственно. Выше и ниже указанных горизонтов идет переслаивание различных кварцитов: массивных, полосчатых, силлиманитовых, кварцито-гнейсов, а также амфиболитов и высокоглиноземистых гнейсов. В составе кварцито-гнейсов выделяются также мигматиты, под которыми понимаются полосчатые породы с чередованием кварц-биотит-полевошпатовых и биотит-микроклитовых и силлиманитовых полос.

Магматические образования поля представлены амфиболитами, залегающими обычно согласно с вмещающими породами, и аляскистыми гранитами, образующими немногочисленные выходы небольшого размера к югу от месторождения. Однако пегматитовые жилы, связанные с аляскитами, распространены достаточно широко. Пегматитовые жилы обычно протяженные, как по простиранию, так и на глубину, и по сути дела являются дайками, осложненными многочисленными апофизами. Жильные формы аляскистов представлены собственно аляскитами и аплитами. Морфологически эти жилы идентичны пегматитовым. Количество гранитоидных жил значительно меньше, чем пегматитовых. Непосредственно на месторождении выделяют два типа пегматитов: красные и белые. Белые имеют кварц-полевошпатовый состав. Красные пегматиты более сложные и содержат дополнительно биотит и турмалин. В распределении пегматитов

существует вертикальная зональность: красные вверх по разрезу через промежуточные разности сменяются белыми.

Структура месторождения и характеристика хрусталеносной минерализации

Жильные проявления месторождения локализуются в узкой щелеобразной широтной трещинной зоне протяженностью более 300 м и мощностью 25-30 м. Трещинная зона имеет вертикальное падение и заложена вдоль осевой плоскости Холоднинской синклинали (рис. 19.). Трещиноватость кварцитов в пределах зоны достигает 10-25 трещин на линейный метр породы. Борта зоны хорошо обозначены резким спадом трещиноватости.

Генеральное простирание и падение трещин совпадает с простиранием и падением самой зоны (широтное и вертикальное соответственно). Кварцевые жилы образуют сложно построенную этажированную систему, местами приобретающую структуру штокверка. Жилы не выходят за пределы зоны трещиноватости и концентрируются в её осевой части, образуя "струю" мощностью 2-4 м. С глубиной густота трещиноватости в зоне резко убывает, и параллельно практически исчезает кварцево-жильная минерализация.

На продольном разрезе месторождения (рис.20) хорошо выражены нижняя и восточная границы жилообразования. Нижней границей является пачка мигматизированных кварцито-гнейсов и глиноземистых гнейсов. На востоке жильная система достаточно резко обрывается пучком крутопадающих даек пегматитов. Верхняя и западная границы уничтожены эрозией.

На этом же разрезе структура жильной зоны выглядит следующим образом. Жилы образуют три этажа, залегающих параллельно один под другим и согласно слоистости вмещающих кварцитов. В западной части месторождения трехэтажная структура исчезает, но отчетливо прослеживается цепочечное расположение жил, согласно слоистости.

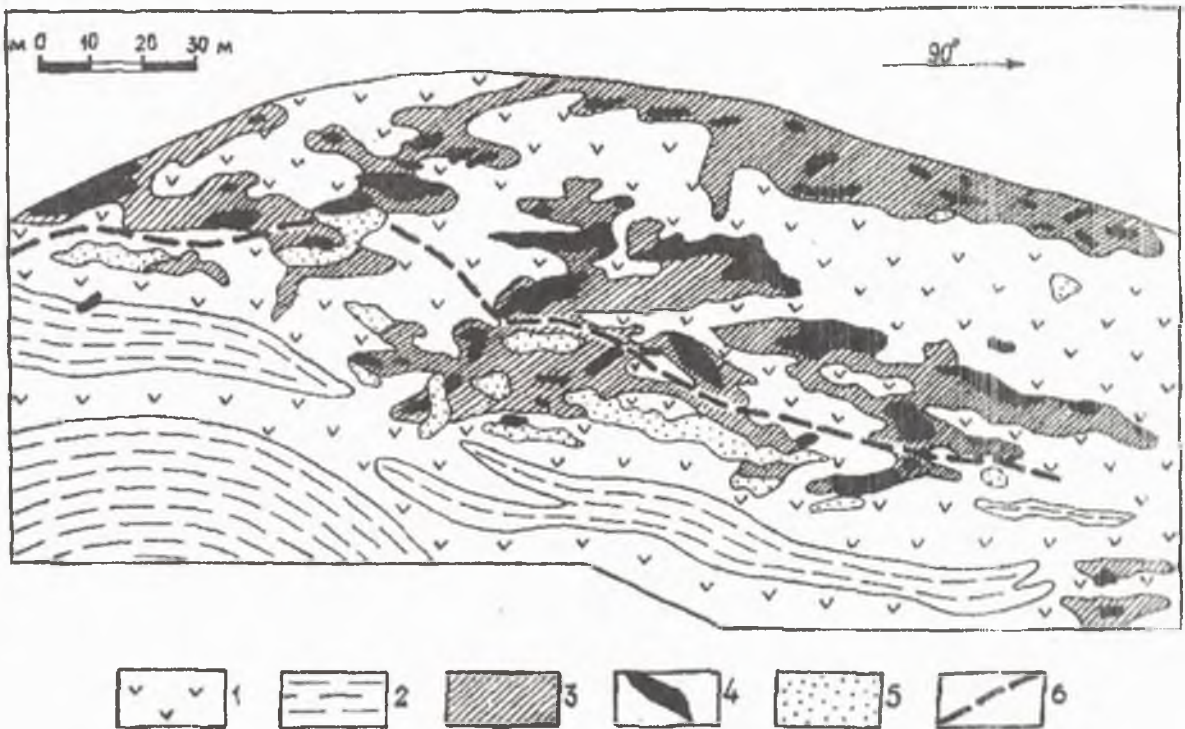


Рис. 20. Продольный разрез – проекция месторождения Холодное
(по Л.Е. Ушверидзе и Г.Н. Рюрикову с упрощением)

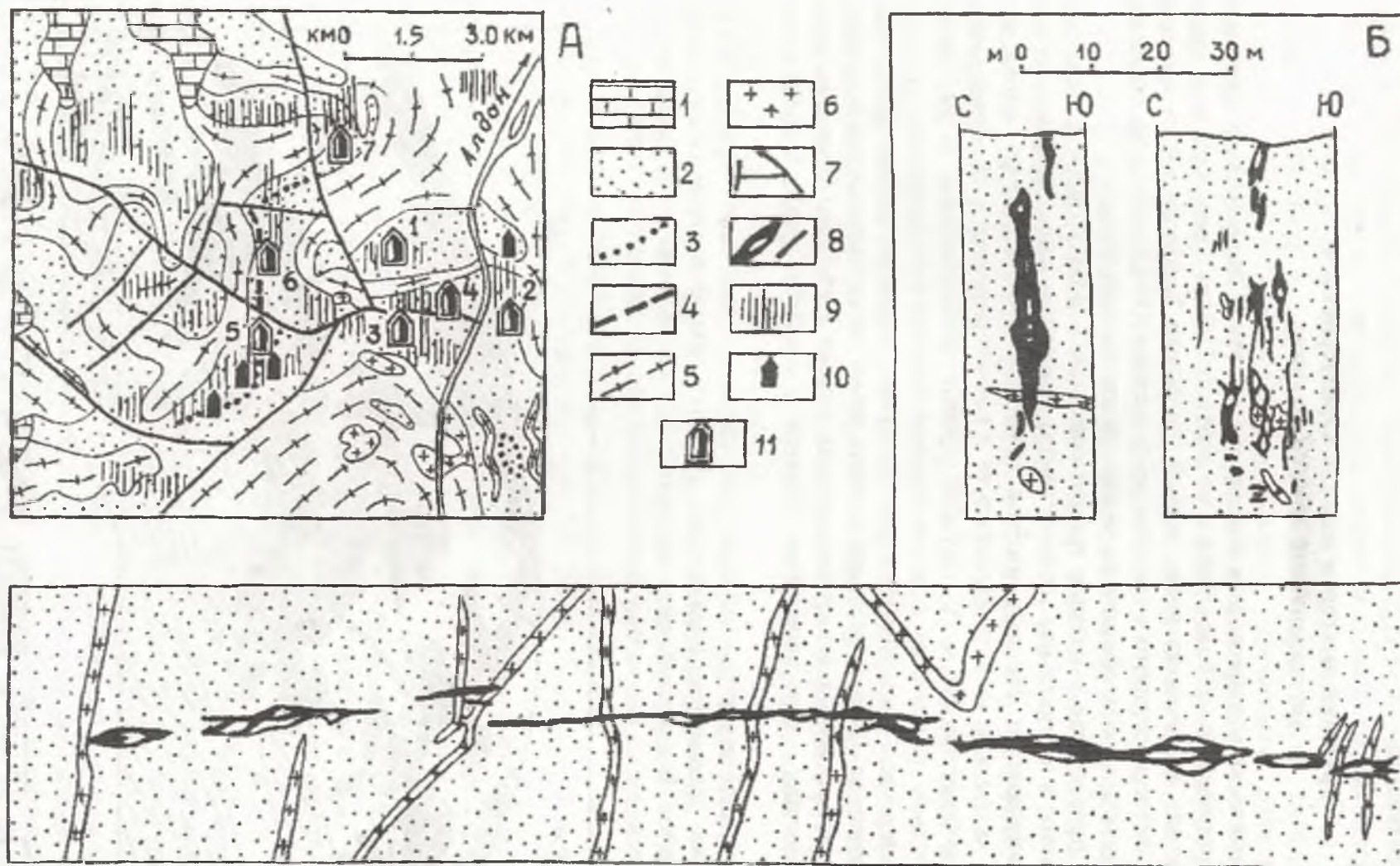


Рис. 19. А – схематическая геологическая карта Суонтиитского жильного поля (по И.Я. Смульскому с упрощением).

Б – план и поперечные разрезы месторождения Холодное (по Л.Е. Ушверидзе и Н.А. Смирновой, 1964г.)

1 – карбонатные отложения платформенного чехла. 2-5 – верхнеалданская свита: 2 – кварцитовая толща нерасчлененная, 3 – силлимантитовые кварциты, 4 – амфиболиты, 5 – гранитоиды. 6 – аляскитовые граниты и жильные гранит-пегматиты. 7 – разломы. 8 – кварцевые жилы и хрусталеносные полости в них. 9 – массивы розовых кварцевых жил. 10 – прожилки чужеродного хрусталя. 11 – междоузлиния горного хрусталя. 1 – Холдинск. 2 – Пай-Пайск. 3 – Засхонтигский.

1 — кварциты. 2 — породы нижнего экранирующего комплекса (гнейсы, кварцито-гнейсы, граниты). 3 — жильный кварц. 4 — хрусталеносные полости. 5 — зеленые гидрослюдистые глины. 6 — граница области развития глин и основной зоны хрусталеобразования

Общая параллельно-цепочечная структура зоны осложнена жильными столбами, образующими две системы. К первой относятся столбы с относительно крутым ($50-60^\circ$) падением на запад. Столбы второй системы выражены менее отчетливо и имеют пологое (25°) падение на восток. Жильные столбы достаточно хорошо проявлены в центральной и западной части месторождения. Их залегание согласно залеганию двух из трех имеющихся на месторождении систем пегматитовых даек. Однако в заложении жильных столбов, скорее всего сыграли роль не сами дайки, а системы трещин, в одинаковой мере контролирующие и пегматитовые тела, и кварцевые жилы. Входящие в состав зоны жилы в первом приближении соответствуют вертикальным пластовым телам, осложненным частыми раздувами и пережимами. Характерно также расщепление единого тела на серию более мелких. Некоторые жилы, расщепляясь, приобретают трубообразную форму. Чаще всего форма жильных тел усложняется при пересечении их с пегматитовыми дайками. Большинство тел связано проводниками в единую систему. Наиболее крупные жилы сосредоточены в центральной части месторождения. Мощность их колеблется в пределах 0,5-2 м, иногда больше. Длина достигает 100 м.

Минералогия жильного кварца простая. Это мономинеральная кварцевая порода, местами насыщенная гидроокислами железа. На границах индивидов кварца могут возникать скопления слюды, каолина, колломорфного гидрогетита, хлорита. Внутри зерен кварца отмечен альбит, каолин и рудный минерал. Структура кварцевых агрегатов параллельно-и-спутанно-шестоватая. Иногда отмечается мелкозернистый массивный кварц. В отдельных местах жилы насыщаются ксенолитами вмещающих кварцитов. Происхождение жильного кварца связывается с выполнением открытых трещин. Метасоматический генезис жил, т.е. возникновение жильного кварца при перекристаллизации кварцитов, исследователями месторождения не исключается, но ему отводится ограниченная роль. Обычно наличие метасоматического кварца предполагается в зонах интенсивного дробления кварцитов.

За время эксплуатации месторождения было вскрыто 116 хрусталеносных полостей общим объемом 6000 м^3 . Классификация полостных структур в основном укладывается в общепринятую для алданских месторождений схему. Выделяются остаточные полости недовыполнения, достаточно широко развитые и, в отличие от других месторождений, содержащие кристаллосырье высокого качества. Вторыми по значимости являются наложенные трещинные полости, приуроченные обычно к зальбандам жил. Выделяются также полости растворения кварцитов, но количество их незначительно и размеры не велики. На Холодном отсутствуют или, возможно, не выделены в особый тип минерализованные трещины. Зато дополнительно к общепринятой схеме выделяются полости замещения пегматитов и многоярусные полости дробления.

Полости замещения пегматитов (термин "полость" здесь употребляется условно) представляют собой апопегматитовые структурные глины, содержащие мелкие игловидные, а также более крупные кристаллы кварца темно-дымчатого цвета. Иногда кристаллы растут от кварцита, лежащего в контакте с пегматитом, и вырастают головками в структурную глину. Если пегматит содержал достаточно крупные кварцевые обособления, они перекристаллизуются в плохо оформленный друзовый агрегат горного хрусталя.

Многоярусные гнезда дробления — наиболее крупные и продуктивные полостные образования, хорошо выраженные на продольном разрезе в центральной и восточной части месторождения. В этом же разрезе наблюдается их сходство с узкой протяженной лентой, из-за чего они получили второе название "ленточные" гнезда. Они приурочены к относительно маломощным горизонтам плитчатых кварцитов. "Ленты" почти всегда подстилаются кварцевой жилой или специфическим образованием, именуемым "зеленой

глиной". Жилы, подстилающие "ленты", имеют не пластовую, а линейную форму, в поперечном сечении они образуют изометричную фигуру, чаще всего трапециевидной формы. "Ленты" в поперечных разрезах имеют ярусное строение. На дне полостей нарастает тонкая пластинчатая сетка полупрозрачного хрусталя. Над сеткой залегает "слоёный пирог", в котором чередуются слои, состоящие из кварцитовых обломков, обросших кварцевыми друзами, и пластовые скопления высококачественных кристаллов горного хрусталя. Продуктивная толщина достигает мощности несколько метров и включает помимо кварцевых агрегатов каолин и кварцевую дресву. Выше следуют крупные друзовые агрегаты, обращенные сетками вниз, и все это перекрывается толщей обломков "пустых" кварцитов. Над гнездом может образовываться полость, связанная с усадкой гнездового выполнения.

Общим свойством кристаллосырья месторождения являются высокая чистота и прозрачность в отношении ультрафиолетовых лучей, относительно небольшие размеры кристаллов и отсутствие на них "рубашек". Процент выхода моноблоков из кондиционного кристаллосырья в различных гнездах варьирует от 5% до 29%. Средняя величина кристаллов характеризуется длиной 10-15 см по длинной оси и 4-6 см в поперечнике. Максимальные размеры 40-70 см в длину и 20-25 см в поперечнике. Довольно много маломощных кристаллов и ограночного сырья. Габитус в основном призматический, иногда обелисковидный. Характерно незначительное различие в развитии граней призмы, из-за чего кристаллы приобретают слабо выраженный тригональный облик. Регенерация обломков кристаллов создаёт двухконечные индивиды, широко распространенные на месторождении. Кристаллы бывают как совершенно бесцветными, так и окрашенными в различные дымчатые тона, иногда до густоты мориона. Преобладают, особенно в верхних частях месторождения, бесцветные и слабо окрашенные разновидности. В качестве примесей присутствуют: хлорит, гематит, магнетит, рутил, ильменит, полевой шпат, серицит, "голландская пыль", монацит, кальцит, эпидот, апатит. Наиболее распространенным является хлорит.

В отношении зональности месторождения можно отметить более высокое качество кристаллосырья на его нижних горизонтах.

Гидротермальное изменение пород проявилось достаточно интенсивно. В вертикальном разрезе образует две зоны. Нижняя залегает под месторождением. Для нее характерны изменения типа пропилитизации. Кварциты выщелачиваются по трещинам, пегматиты вдоль нарушений переходят в бурые структурные глины, или же в них происходит хлоритизация биотита, соскюритизация плагиоклазов и обильное выделение гидроокислов железа. Местами образуются эпидот и кальцит.

Верхняя зона соответствует собственно месторождению. Интенсивность изменений резко нарастает, меняется их характер. Кварциты вблизи гнезд интенсивно перекристаллизуются и выщелачиваются. Широко развиты серицитизация и каолинизация. Пегматиты превращаются в каолин-гидрослюдисто-кварцевую породу. Происходит значительный вынос кремнекислоты. Однако вынос характерен для окологнездового пространства, в бортах же кварцевых жил он незначителен, а наоборот — наблюдается привнос кремнекислоты. Помимо кварцитов, контактирующих с хрусталеносными гнездами, кремнекислота в больших количествах выносится из измененных пегматитов. Изменения вмещающих пород по характеру новообразования минералов соответствуют аргиллизации.

Непосредственно у контакта с кварцевыми жилами, обычно на их выклинивании по лежащему боку, развиваются тела светло-зеленых глин, представляющих собой аргиллы, гидрослюды, содержащий ряд аксессуаров. По морфологии и размерам тела зеленых глин идентичны кварцевым жилам. То же можно сказать и об ориентировке в пространстве. Усложнения их формы в виде резких перегибов или апофиз от основного тела образуются в связи с появлением подобных же осложняющих форм в близ расположенных кварцевых жилах. В разрезе месторождения зеленые глины занимают вполне определенное место.

позицию. Концентрация их резко возрастает в донной части месторождения. В верхах разреза тела зеленых глин единичны и имеют небольшие размеры. Заметно повышается количество глин в жильных столбах. Между телами глин и хрусталеносными полостями существует вполне определенный антагонизм – там, где много зеленых глин, полостей мало и размеры их невелики. Это хорошо видно на продольном разрезе месторождения. Верхняя и средняя части месторождения, где практически нет зеленых глин, изобилуют хрусталеносными полостями. В нижней части – полости как бы вытесняются глинами.

Вопрос о происхождении глин длительно дебатировался. Предложенные гипотезы, в основном, сводились к возникновению их за счёт замещения алюмосиликатных пород: амфиболитов, гранитов или фельдшпатизированных кварцитов. Против такой трактовки метазенезиса легко выдвинуть ряд возражений. Во-первых, не объясняются характерные пространственные взаимоотношения зеленых глин с хрусталеносными полостями, а также с кварцевыми жилами. Во-вторых – породы, за счет которых возникли глины, должны присутствовать на месторождении или вблизи него и иметь при этом те же морфологические особенности, что и глинистые тела. Однако этого не наблюдается. Более правдоподобной представляется версия образования "зеленых" глин за счет осаждения тонкодисперсного материала, переносимого гидротермальным потоком. Эта трактовка предполагает наличие на месторождении крупных полостных структур, возникших при выщелачивании кварцитов без хрусталеобразования, и впоследствии заполненных "гидротермальными осадками".

Перспективы месторождения

Как указывалось выше, месторождение Холодное является одним из наиболее изученных в Южно-Якутской провинции. Этому способствовала его структурная простота – узкая, четко выраженная линейная зона, практически снимающая проблему поисков минерализации на флангах. "Дно" месторождения выражено отчетливо. Почти полное отсутствие минерализации на глубине убедительно показала проходка нижнего штольнего горизонта. Месторождение признано отработанным с отсутствием перспектив на флангах и глубине.

В то же время, работами 1992-93 гг. по геофизическим данным намечается развитие структуры, подобной месторождению, к югу от хрусталеносной зоны. Намечавшееся изучение этой структуры по ряду причин технического и экономического плана не проведено. Тем не менее, выявление зоны скрытого залегания ("второй ветви месторождения") геологами экспедиции № 107 не исключалось. Это послужило основанием для отнесения блока месторождения к перспективным объектам и выделения здесь рогнозных ресурсов категории P_2 (Г.П. Пацкевич, 1993 г.).

Данные по геолого-техническим характеристикам месторождения Холодное приведены в таблице 5.3. Из них видно, что объекты подобного типа обеспечивают достаточно высокую эффективность эксплуатационных работ за счет высокой концентрации полезного скопаемого (содержание пьезокварца в расчете на продуктивную массу – $32,0 \text{ г/м}^3$), при высоком его качестве. В отношении плавочного сырья, несмотря на значительные масштабы минерализации, продуктивность весьма ограниченная из-за обычного для месторождений Южно-Якутской провинции повышенного содержания Al и щелочей (табл. 5.1).

5.5. Месторождение Малый Нихот

Месторождение находится на юге Якутии в 30 км к востоку от г. Нерюнгри (географические координаты $56^\circ 40'$ с.ш., $125^\circ 17'$ в.д.). Оно включает ряд проявлений,

расположенных в пределах горы Длинной и ее окрестностей, в междуречье рек Тимптонской и Горбылях.

Малый Нихот принадлежит Верхне-Тимптонскому хрусталеносному району и в настоящее время является его наиболее крупным промышленным объектом.

Первые хрусталеносные высыпки на месторождении обнаружил в 1944г. геолог Шестаков. В 1945г. полевые работы продолжились (А.А. Шапошников и др.), и в результате было обнаружено 30 развалов жильного кварца. В дальнейшем работы на пьезокварц Верхне-Тимптонском районе были возобновлены в 1954г. и велись Восточно-Сибирской экспедицией 6 Главного Управления МГ и ОН. С этого времени на Мало-Нихотском месторождении проводятся поисково-оценочные и разведочные работы. В качестве основного промышленного объекта определяется жильная зона № 8. В 1956г. началась эксплуатация и продолжается до 1966г. Всего за этот период было извлечено более 1000 моноблоков пьезокварца.

Геологическое строение района месторождения

В региональном плане Мало-Нихотское месторождение размещено на южной окраине Алданского щита, вблизи залегающей к югу Становой зоны протерозойской орогенной области (Бергер В.И., 1963г.; Быдтаева Н.Г. и др., 1988г.). К западу расположена Чульманская впадина, выполненная юрскими отложениями.

Месторождения Верхне-Тимптонского района укладываются в две широтные полосы, согласующиеся с крупным структурным планом региона, выраженном как широтная вытянутость пояса становой орогенной области, так и соответствующей ориентировкой становой мезозойской активизации. Малый Нихот совместно с Модемконским месторождением входит в состав северной полосы.

Все месторождения Верхне-Тимптонского района по аналогии с Верхне-Алданским районом залегают в метаморфических породах архея, объединяемых в иенгскую серию, конкретно — в кварцитовых горизонтах верхнеалданской свиты. Эта свита занимает определенное положение в разрезе иенгской серии. Ниже ее располагается чекчойская свита, представленная кристаллосланцами мезократового состава; выше залегает федоровская свита, представленная в разрезе которой характерно присутствие прослоев мраморов, кальцифиров, диоритов, диоритовых пород и кварцитов. В Верхне-Тимптонском хрусталеносном районе последние свиты имеют ограниченное развитие.

В составе верхнеалданской свиты выделяются два основных кварцитовых горизонта мощностью 300-800 м, расположенных в нижней части разреза. Кварциты переслаиваются с магнетиально-железистыми кристаллосланцами и глиноземистыми (силлиманитовыми, гранатовыми и кордиеритовыми) гнейсами. Количество сланцев и гнейсов вверх по разрезу резко возрастает. Широким развитием пользуются гранито-гнейсы, являющиеся, вероятно, продуктом ультраметаморфизма гнейсов и кристаллосланцев. С гранито-гнейсами ассоциируют мигматиты.

Структура Мало-Нихотского жильного поля (рис. 21.), локализованного на Юго-Восточном Бугарыктинском антиклинория, определяется тремя основными тектоническими элементами — двумя антиклиналями, вытянутыми на СВ и ограничивающими поле с СВ и запада, и расположенной между ними синклиналью. Ширина антиклиналей 1,5 км, их ядра сложены кварцитами, падение крыльев 30-40°. Шарниры антиклиналей часто ундулируют. Эти ундуляции играют определенную жилоконтролирующую роль. Основная масса кварцевых жил расположена в пределах указанных антиклиналей. В широкой синклинали, занимающей центр жильного поля, залегают в основном гранито-гнейсы при резко ограниченном развитии кварцитов. Столь же ограничено здесь развитие кварцевых жил.

Разрывные нарушения представлены разломами, по меньшей мере, 3-х групп. Наиболее молодые оконтуривают Чульманскую впадину, а также наблюдаются в

архейских породах, залегающих в ее бортах. Кварц в жилах, расположенных вблизи молодых разломов, часто бывает катаклазирован.

Вторая группа нарушений представлена небольшими разрывами, приуроченными к участкам погружения шарниров антиклиналей и занимающими обычно поперечное положение по отношению к их осям. Падение разломов крутое или вертикальное. Они широко развиты в кварцитах г. Длинной и быстро затухают при переходе в граниты.

Предположительно это сдвиги с амплитудой до 150 м, сопровождаемые милонитизацией кварцитов. Кварцевые жилы концентрируются вблизи сдвигов, часто пересекая их; таким образом устанавливается относительно древний возраст данной группы нарушений.

На юго-востоке жильного поля отмечены две параллельные зоны дробления кварцитов, залегающие в ядре антиклинали и согласные ее оси. В зонах отмечается грубообломочная брекчия кварцитов, сцементированная шестоватым кварцем. Кварцевая минерализация прослеживается непрерывно на всем их протяжении (около 1 км).

Характеристика Мало-Нихотского жильного поля

Мало-Нихотское жильное поле содержит около 90 кварцевых проявлений, сосредоточенных на площади 50 км² и сгруппированных на 5 участках: территории гор — Длинной, Дозорной, Белой; Тырыннах и ручья М. Нихот. Основное промышленное значение имеет гора Длинная, включающая ряд проявлений, из которых одно — жильный штокверк № 8, содержит практически все запасы месторождения. Второй хрусталеносный объект — гора Дозорная — расположена в 3 км к востоку и представлена небольшим малопродуктивным жильным штокверком, залегающим в кварцитах. На восточной окраине жильного поля горы Белой наблюдается интенсивное развитие кварцевых жил при крайне низкой, не имеющей практического значения хрусталеносности. К югу от горы Дозорной и от горы Длинной, на участках г. Тырыннах и ручья М. Нихот соответственно, кварцевые жилы развиты достаточно широко, но признаки хрусталеносности (наличие друзового кварца, каолинизация пород) отмечены только в районе ручья М. Нихот (рис. 21.).

Кварцево-жильная минерализация представлена собственно кварцевыми жилами и кварц-хрусталеносными полостями. Кварцевые жилы являются наиболее ранними образованиями и сложены преимущественно шестоватым кварцем; в меньшей мере — мелко-среднезернистым массивным кварцем, развитым обычно в контактах жил или на их выклинивании. Жилы залегают в кварцитах и изредка в алюмосиликатных породах, содержащихся в кварцевой толще.

Выделяются следующие типы жильных тел; простые трещинные жилы, жильные зоны, штокверки, трубообразные тела. Наиболее распространены тела первого типа. Их длина составляет 3-5 м, достигая иногда 25 м. Мощность 0,1-0,5 м, иногда до 2,5 м. Большинство жил имеет плитообразную форму, в той или иной степени осложненную небольшими апофизмами.

Жильные зоны состоят из серии жил, разобщенных или связанных проводниками и размещающихся в пределах одной зоны крутопадающих трещин. Отдельные тела обычно субпараллельны и образуют цепочечные или кулисные системы. Протяженность жильных зон достигает 100-150 м, мощность составляет 5-10 м.

Штокверки обычно приурочены к участкам развития нескольких систем крутопадающих трещин, при этом различаются штокверки двух типов. Первые залегают в протяженных зонах дробления кварцитов, вторые — в узлах трещиноватости.

Первый тип штокверков — относительно редкий; зачастую они сопровождаются брекчиевыми структурами. Штокверки второго типа образуют изометричные в плане тела размером до 40x70 м, при мощности до 20-30 м. Тела образованы сложным переплетением

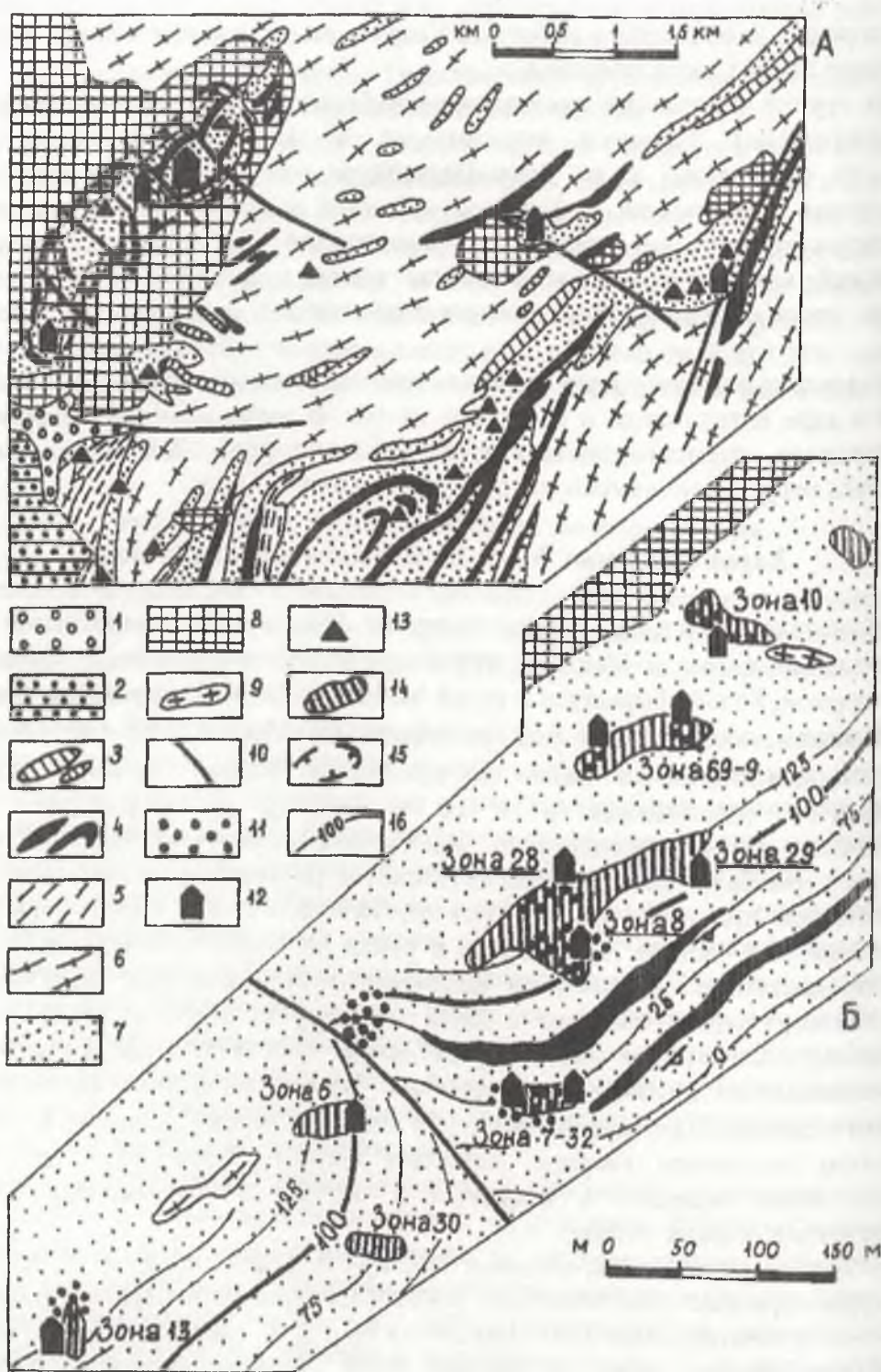


Рис. 21. А – Геологическая карта Мало-Нихотского кварцево-жильного поля (по В.И. Бергеру, 1962 г.).

Б – Схема геологического строения СВ части месторождения Малый Нихот (по Ю.А. Шатнову, 1992 г.).

1 – четвертичные отложения. 2 – терригенные отложения верхнего структурного этажа (К). 3-7 – протекторитовые образования: 3 – глиноземистые кристаллосланцы и гнейсы, 4 – амфибол-пироксеновые кристаллосланцы, 5 – биотит-полевошпатовые гнейсы, 6 – гранито-гнейсы и мигматиты, 7 – кварциты. 8 – аляскитовые граниты. 9 – гранит-пегматиты. 10 – разломы. 11 – ореолы аргиллизации. 12 – проявления горного хрусталя. 13 – проявления нехрусталенозных кварцевых жил. 14 – ореолы развития кварцевых жил (для схемы А). 15 – границы месторождения Малый Нихот (участок г. Длинной). 16 – изогипсы кровли кварцевых жил (для схемы Б).

жил и прожилков мощностью от n см до 2 м. Каркас штокверка обычно образуют крутопадающие жилы, осложненные пологозалегающим оперением. Трубообразные тела имеют изометричную или линзовидную форму в плане размером 5-7 м (для изометричных тел) и до 14х6 м (для линз). По склонению они прослеживаются на 30-40 м. Шестоватые индивиды кварца в трубах имеют хорошую огранку и достигают значительных размеров, до 1,2 м по длинной оси и 0,4 м в поперечнике.

Хрусталеносные полости делятся на остаточные, наложенные и минерализованные трещины. Четких разграничений между ними нет. Наиболее крупными полости, образование как и во всей Южно-Якутской провинции, являются наложенные полости, образование которых связано с выщелачиванием кварцитов, кварцевых жил и иногда алюмосиликатных пород. В бортах наложенных полостей интенсивно проявлены процессы выщелачивания и перекристаллизации кварцитов, переработки шестоватого кварца с укрупнением и осветлением индивидов. Алюмосиликатные породы подвергнуты изменениям типа аргиллизации.

В кварцитах, расположенных над полостями, часто возникает плитчатая отдельность, способствующая образованию сводовых обрушений. При этом расщеления (плитки) свода часто обрастают щетками мелкокристаллического кварца.

Выполнение полостей представлено отдельными кристаллами и обломками горного хрусталя, друзовыми агрегатами, дресвой жильного кварца и кварцита, глинами, окислами и гидроокислами железа, иногда марганца, а также льдом. Обломки жильного кварца и кварцита часто окаймляются друзами горного хрусталя.

Среди наложенных полостей характерны куполовидные формы, нижняя поверхность которых плоская, а верхняя имеет форму свода. Наблюдаются также трубообразные, разветвляющиеся и сложные многокамерные формы. Объем достигает 50-60 м³, составляя в среднем 3-6 м³.

Остаточные полости наиболее распространенные и встречаются в большинстве жил. Формы полостей: овальная, удлиненно-линзовидная, щелевидная или неправильная — в большинстве случаев примерно повторяющая очертания жил. Объем редко превышает 10 дм³. Околожилные изменения для остаточных полостей нехарактерны.

Минерализованные трещины — достаточно редкие образования, приуроченные к крутопадающим трещинам отрыва и достигающие 10 м в длину при мощности до 0,5 м. В выполнении трещин жильный кварц практически отсутствует. Их стенки покрыты щетками и друзами относительно мелких и, как правило, некачественных кристаллов горного хрусталя; центральная часть обычно выполнена глинами. Промышленного значения полости этого типа не имеют.

В породах, вмещающих кварцевые жилы и хрусталеносные полости, отмечаются два типа гидротермальных изменений. Изменения первого типа наблюдаются около крупных полостей растворения. Они выражаются в интенсивном разложении первичных минералов и выносе большинства компонентов. Граниты подвергаются аргиллизации, основные породы хлоритизируются, кварциты растворяются. Среди минеральных новообразований значительное развитие приобретает серицит и мусковит, а также глинистые минералы (в основном каолин). Изменения данного типа, с почти полным замещением первичного субстрата, характерны для наиболее хрусталеносных штокверковых зон.

При изменениях второго типа происходит в основном метасоматическое замещение выноса вещества с образованием пористых структур менее характерен. Преобладают пропилитизация гранитов и основных пород, при подчиненном развитии серицитизации растворения кварцитов. Типоморфной группой новообразованных минералов являются эпидот, хлорит, альбит, кальцит и актинолит.

Интенсивное выщелачивание приводит к увеличению пористости до 20-30% и более. В изменениях второго типа пористость увеличивается незначительно (не более 10%) и

напротив уменьшается.

Различные породы неодинаково подвержены изменениям. При прочих равных условиях наиболее сильно перерабатываются граниты и пегматоиды, в меньшей степени кварциты и магнезиально-железистые кристаллосланцы.

Изменения первого типа образуют объемные ореолы. В окологнездовом пространстве эти изменения усиливаются, определенно тяготея к лежащему борту полости. Часто эти изменения резко усиливаются под пологозалегающими жилами, не содержащими полостей.

Изменения второго рода обычно образуют линейные зоны вдоль систем трещиноватости. Они далеко не всегда выступают в роли околожильного ореола, являясь автономными образованиями, находящимися, по-видимому, в парагенетической связи с жилами.

Необходимо отметить масштабность выноса компонентов, особенно при изменениях первого типа. В частности, в окологнездовых кварцитах из 1 м^3 породы выносятся 250-400 г кремнекислоты; из гранитоидов выносятся большая часть кварцевого материала.

В.И. Бергер на примере близ расположенного к М. Нихоту Бугарыктинского месторождения делает вывод о вертикальной зональности в изменении вмещающих пород. Сверху вниз в интервале 300 м он выделяет три зоны. Первая представлена изменениями первого типа; вторая зона характеризуется развитием изменений первого и второго типа, в третьей зоне развит только второй тип. При этом интенсивность изменений убывает сверху вниз. Также намечается в разрезе зоны № 8 Мало-Нихотского месторождения.

Опыт полевых работ на месторождении показывает, что использование измененных пород рационально только для крупных жильных систем, в основном в оценочных целях. По отношению к отдельным жильным телам и мелким жильным системам ореолы изменения часто залегают со смещением. Существуют также автономные ореолы измененных пород. Изменения, связанные с образованием полостей растворения, зачастую неотличимы от изменений, не имеющих отношения к последним. Всё это ограничивает возможность использования измененных пород при поиске конкретных жильных систем и полостей. Более продуктивным на месторождении оказался метод поиска полостей растворения по ореолам сводовых трещин, часто возникающим над последними. Мошаровский ореолов соизмерима с размерами полостей. Радиус кривизны трещин также определенно говорит о размере гнезда. Таким образом, появляется возможность оперативно корректировать направление горных выработок.

В структурно-литологическом контроле кварцевожильной минерализации М. Нихотского месторождения определяется несколько основных позиций (рис. 21.). Во-первых, она практически полностью локализована в кварцевой толще, слагающей основание Верхнеалданской свиты. Во-вторых — приурочена к разнопорядковым антиклинальным структурам линейного и брахиального типов. Собственно, вторая позиция может быть первой, т.к. кварцевая толща выводится на поверхность только в антиклиналях. Поэтому в плане структурного контроля важнее учитывать более существенные по масштабу и распространению изменения, заключающиеся в приуроченности минерализации к ундуляции шарниров антиклинальных изгибов в плане их осей, часто в сочетании с разломами СЗ простирания. В-третьих, намечается определенная связь жил, в том числе всех хрусталеносных, с зоной кварцитов с перекрывающей толщей гранито-гнейсов и отдельными пластами кристаллосланцев. В-четвертых, для сложных и наиболее продуктивных жильных систем проявляется тенденция к локализации в блоках кварцитов, насыщенных малыми телами гранитов.

Локализация конкретных жильных тел определяется в первую очередь трещиноватостью кварцитов. В кварцитах Малонихотского поля установлены три системы трещин: трещины напластования (обычно пологозалегающие), субширотные и субмеридиональные. Последние две системы крутопадающие. Отмечено резкое, на

снижение количества трещин при переходе из кварцитов в другие породы. Кварцевые жилы обычно локализуются на пересечении трещиноватых зон и контактов кварцитов с алюмосиликатными породами. Жилонесущими являются в основном субширотные трещины, на втором месте стоят субмеридиональные. Пологие трещины напластования, играющие важнейшую роль в размещении жильных тел гранит-пегматитов, самостоятельно кварцевыми жилами обычно не используются. Однако они часто являются вмещающими для небольших жильных апофиз.

Характеристика жильной зоны № 8

Жильная зона № 8, играющая первостепенную роль на месторождении, является в то же время типовым объектом Южно-Якутской провинции, представляющим штокверковый тип минерализации. Штокверк расположен в области высокой концентрации кварцевых проявлений на С-В окончании антиклинали г. Длинной. Он приурочен к ее осевой части, сложенной наиболее резким поперечным перегибом в зоне секущего нарушения. В плане штокверк имеет неправильную форму, несколько вытянутую по аз. 310° и размеры 70×35 м при мощности 18 м. Его общее падение на Ю-В, согласно напластованию кварцитов. Штокверк подстилается полого залегающей гранитной дайкой. Между кварцевыми жилами и дайкой залегает "подушка" интенсивно измененных и выщелоченных крутопадающих жил (аз. $330-350^\circ$). С глубиной эти жилы сменяются зоной дробления и трещиноватости кварцитов, со следами гидротермальной переработки (рис. 22.).

Мощность жил в западном блоке 2-3 м, длина до 20 м. В его пределах вскрыто 8 крупных хрусталеносных полостей. Мелкие полости относительно редки. Восточный блок, примыкая к западному, является собственно штокверком. Он образован множеством переплетающихся жил, как бы ответвляющихся от основного ствола мощных жил западного блока. С СВ штокверк четко ограничен зоной трещиноватости мощностью 0,5 м. Нижние и верхние ограничения штокверка также достаточно резкие, и в целом на разрезах штокверковое тело контрастно выделяется на фоне вмещающих пород, образуя линзу, падающую на ЮВ под углом 30° . Мощность жил колеблется в пределах 0,1-2 м, увеличиваясь к лежащему боку; простираение, как и в западном блоке $330-350^\circ$, при пологом падении в обе стороны.

Жилы и прожилки штокверка практически мономинеральные и сложены белым непрозрачным кварцем, преимущественно параллельно-шестоватой и друзовидной крупнозернистой структуры. Контакты, как правило, резкие. Около хрусталеносных полостей жильный кварц часто просветляется, однако структура его агрегатов при этом почти не меняется.

При отработке зоны № 8 вскрыто более сотни полостей. Среди них много мелких зонорышей (не более $0,1 \text{ м}^3$) остаточного типа, приуроченных к раздувам и пересечениям жил, но не имеющих определенной позиции в объеме штокверка. Кондиционные кристаллы в данных полостях редки.

Наиболее продуктивны полости растворения. Всего вскрыто 38 крупных и больших число мелких гнезд этого типа. Объем крупных полостей измеряется десятками м³. Практически все они приурочены к краевым частям штокверка. В верхней (по восстанию) части штокверка мелкие гнезда расположены преимущественно в висячем боку, в южной погружающейся — в лежащем; часть из них залегает на флангах. Вмещающими для полостей растворения служат кварцевые жилы и кварциты; часто они залегают на контактах гранитных даек. При формировании полостей используется та же система дислокаций, что и при образовании кварцевых жил, с предпочтением пологой трещиноватости, ориентированной по падению штокверкового тела. Форма большинства полостей раство-

ния уплощенно-линзовидная, реже трубчатая или неправильная. Трубчатые формы характерны для участков развития крутопадающих трещин.

Кристаллы горного хрусталя имеют призматический габитус с хорошо развитой одной или двумя гранями головки. Средний вес кристаллов – 300 грамм, максимальные размеры – 30 см по тройной оси и 12 см в поперечнике. На периферии кристаллов наблюдаются микровключения гематита и серицитовые присыпки, отмечаются также включения кальцита и округлые скопления гетита и каолинита. В целом кристаллосырьё обеспечивает достаточно высокий выход пьезокварца, однако качество сырья из-за преобладания малоразмерных кристаллов сравнительно низкое (табл. 5.1.). В качестве плавочного сырья горный хрусталь месторождения не имеет высокой ценности из-за повышенных содержаний Al и Li (табл. 5.1.).

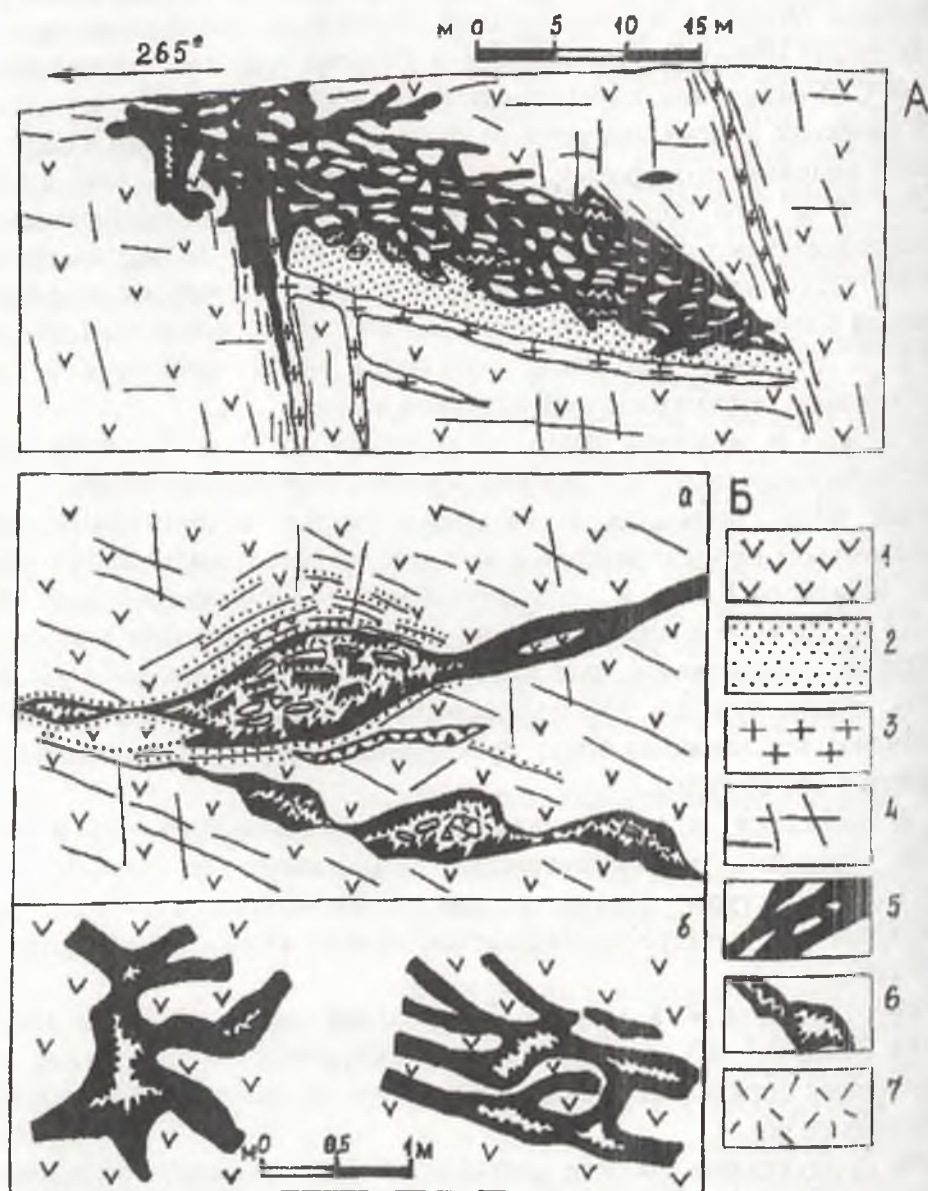


Рис 22. Месторождение Малый Нихот.
Разрез через штокверковую зону № 8 (А). Характерные типы хрусталеносных полостей (Б).
а – полости растворения, б – остаточные внутрижильные полости.
(по В.И. Бергеру, 1963 г.)

1 – кварциты. 2 – интенсивно измененные и выщелоченные кварциты. 3 – граниты и гранит-пегматиты. 4 – трещины. 5 – жильный кварц. 6 – хрусталеносные полости. 7 – внутриполостной материал

Перспективы месторождения

В 1966 году эксплуатационные работы на месторождении были прекращены в связи с истощением запасов на известных объектах и отсутствием перспектив на открытие новых. В 1989-91 гг. были проведены совместные ревизионные работы с участием экспедиции "Востоккварцсамоцветы" и ВНИИСИМС, давшие отрицательный результат в отношении глубоких горизонтов и флангов основных жильных зон. Перспективы месторождения можно связывать только с возможностью открытия на площади жильного поля новых слепых жил и жильных зон. Вероятность выявления таких тел, учитывая характер изученности большей части площади жильного поля, достаточно высока, однако, несомненно, связана со значительными затратами.

Тем не менее, при высокой интенсивности хрусталеносной минерализации, установленной для основной зоны месторождения (зона № 8), поиски подобных объектов на глубине могут быть оправданы. Приводимые геолого-экономические характеристики отработанных блоков запасов (табл. 5.3.) показывают возможность рентабельной их эксплуатации даже в скрытом залегании.

6. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ АКТИВИЗИРОВАННОГО СРЕДИННОГО МАССИВА (УЛУТАУСКИЙ РАЙОН)

Улутауский хрусталеносный район (ранее выделяемый как Джезказган-Улутауская хрусталеносная провинция) приурочен к Улутауской зоне поднятий Центрального Казахстана

Хрусталеносная минерализация района выявлена в 1949г. (А.С. Гудков), и ее освоение продолжалось до конца 80-х годов, параллельно с отработкой основных объектов жильный кварц для оптического стекловарения. На поисковой стадии в изучение района основной вклад был внесен геологами экспедиции № 112 6-го ГУ А.С. Гудковым, Соколовым, С.Н. Венедиктовым, Н.Н. Сенкевичем, В.И. Масловой, А.П. Гавриловым, Гаврилиным, Л.А. Пановым, А.А. Щеколдиным, В.И. Жильцовой, Я.Я. Каценбогом, В.Ф. Сычевым, С.А. Алиаскаровым и др. Непосредственное изучение месторождений (на уровне разведочной и эксплуатационной стадии) осуществлялось И.Е. Бляхманом, А.И. Балакиным, Е.В. Салионовым, Л.И. Игнатовым, Ю.А. Шатновым, А.С. Никифоровым, В.А. Лапшиным, С.К. Казанцевым, Г.Д. Аеровым. В качестве технических руководителей работ по освоению месторождений района неоценимый вклад внесли И.Т. Масленников, П.М. Прупис, Е.А. Бахур, С.П. Кушнер, Д.И. Деркач, С.М. Айткалиев, А.А. Паков, Куроптев, Н.И. Ярошенко и др.

6.1 Геологическое строение района

Улутауская зона поднятий, с которой связана хрусталеносная минерализация, характеризуется сложным геологическим строением (рис. 23.).

По данным Ю.А. Зайцева, А.Е. Михайлова, Л.И. Филатовой и др. в разрезе территории выделяются докембрийские и палеозойские комплексы, а также рыхлые кайнозойские отложения. Докембрийские образования в низах разреза представлены двуслюдяно-сланцевыми сланцами, реже – мраморами архейско-нижнепротерозойского комплекса. Выше по разрезу они сменяются кварцитами, кварц-амфиболовыми полевошпат-амфиболовыми сланцами среднего протерозоя. Верхние докембрийские (сланцевые, кварц-хлорит-серицитовые сланцы) относятся к верхнему протерозою. Палеозойская группа в основании сложена метаморфизованными конгломератами, песчаниками, железисто-кремнистыми и углито-кремнистыми сланцами кембрийского возраста. Ордовикские отложения представлены флишеидными образованиями. Девон толща сложена в основном пестроцветными и красноцветными песчаниками, алевролитами, конгломератами жаксыконской серии (D_2-D_3fr). Палеозойский разрез замкнут известково-песчанистыми и кремнистыми отложениями верхнего девона (D_3fm) и карбона (C_{1-2}). Кайнозой представлен рыхлыми платформенными образованиями (глины, галечники) палеогена, неогена и антропогена.

Интрузивные образования в районе относятся к пяти автономным комплексам: верхнепротерозойский комплекс гранито-гнейсов и граносиенитов, раннепалеозойский гранодиоритовый комплекс и среднедевонский комплекс лейкократовых гранитов, Ордовикский комплекс включает интрузивы основных и ультраосновных пород Улутауского и Змеевых поясов. Верхнепалеозойский комплекс представлен кварц-полевошпатовыми жилами и дайками диоритовых порфиритов, а также соответствующими по составу вулканогенными образованиями (редки).

В структурно-тектоническом плане Улутауская зона поднятий приурочена к западной части Центрально-Казахстанской зоны консолидации (Центрально-Казахстанская зона консолидации).

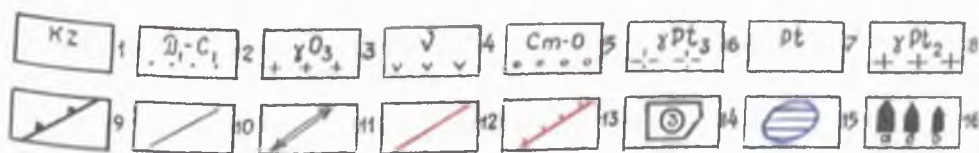
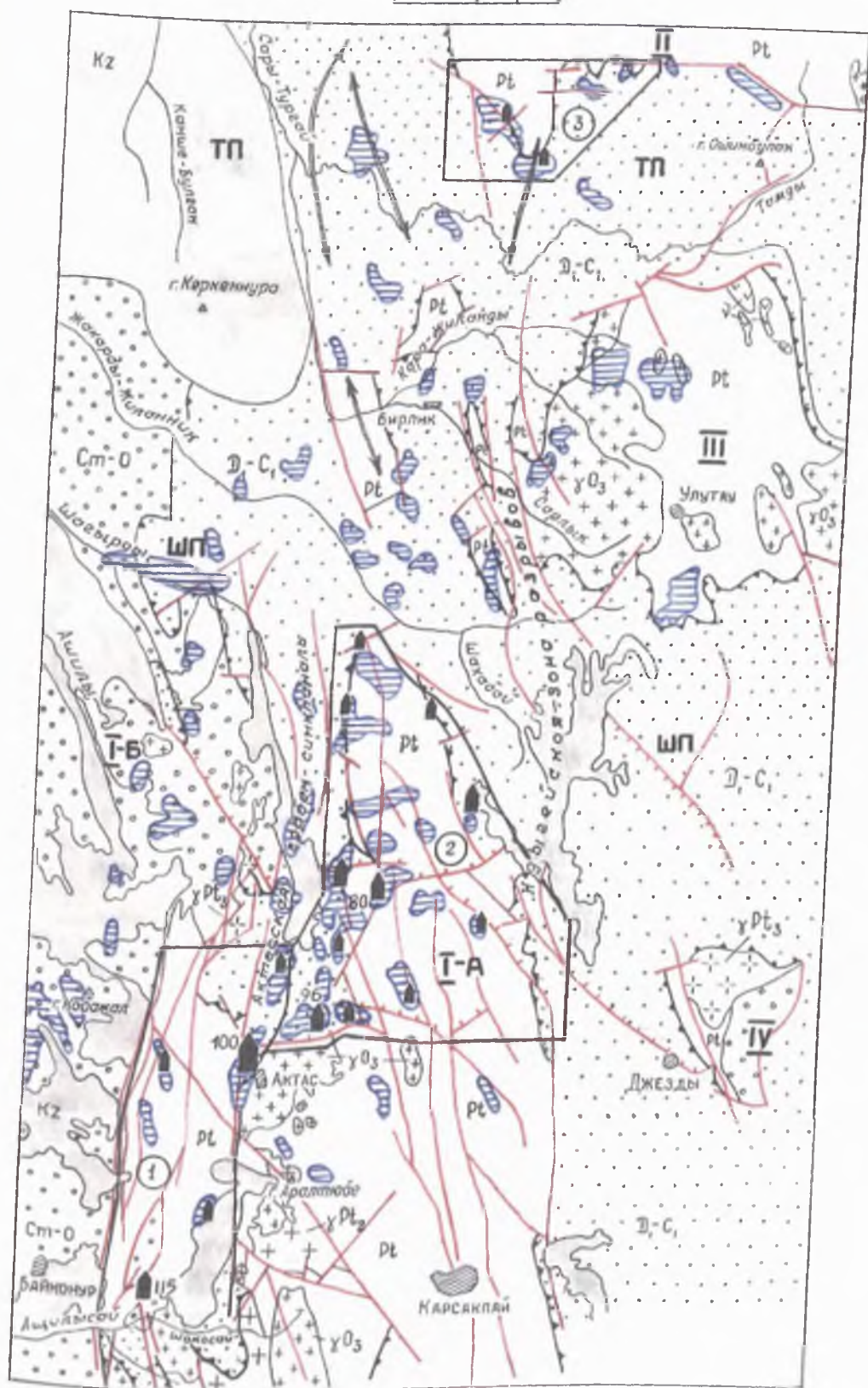


Рис. 23. Карта хрусталености Улутауской зоны поднятий (по Ю.А. Шатнову, 1972г.)

1 – платформенные образования кайнозоя. *Верхний структурный этаж*. 2 – Палеозойский комплекс Терригенно-карбонатные, терригенные, частично – вулканогенные фации. *Нижний структурный этаж*. 3 – Верхнеордовикские (каледонские) гранитоидные интрузии. 4 – ордовикские и верхнепротерозойские интрузии основного и ультраосновного состава. 5 – Нижнепалеозойский комплекс. Кремнистая, углистая, терригенная фации. 6 – верхнепротерозойские граниты. 7 – нижне-верхнепротерозойские комплексы. Метаморфизованные осадочные, вулканогенно-осадочные толщи. 8 – Среднепротерозойский (жаункарский) комплекс гранитов, 9 – границы структурных этажей. 10 – геологические границы. 11 – антиклинальных складок. 12 – основные разрывные нарушения. 13 – направления падения сместительного разрывного нарушения. *Хрусталеносные объекты*: 14 – хрусталеносные узлы (зоны: 1 – Актауская, 2 – Кыштау-Идыгейская, 3 – Коксайская.); 15 – основные хрусталеносные поля. 16 – месторождения горных хрусталя: а – крупные, б – средние, в – мелкие, в т.ч.: 80 – Надырбай, 96 – Котр, 100 – Актаус, 115 – Аштыбай.

срединный массив) геосинклинальной системы, существовавшей до среднего девона. Начиная со среднего-верхнего девона структура подверглась герцинской активизации, проявившейся в наложении глыбовой тектоники.

В связи с проявлением двух этапов тектогенеза, в складчатом основании Улутауской зоны выделяются два структурных этажа. Нижний этаж включает все докембрийские и каледонские складчатые комплексы. Для них характерен четкий меридиональный характер дислокаций, развитие линейной складчатости многих порядков. Основные складчатые сооружения нижнего структурного этажа – Улутауский антиклинорий и Байконурский синклинорий, осложненные складками более высоких порядков (Каценбоген Я.Я., Екимов В.П. и др., 1966г.).

В современном срезе зоны более проявлены структуры верхнего этажа. Его основными положительными элементами являются Карсакпайское и Арганатинское поднятия, а также Улутауский и Эскулинский купола. Поднятия разделены субширотными прогибами – Тамдинским и Шагырлинским – и осложнены более мелкими структурами (типа Актауского грабен-синклинали). Верхний этаж сложен комплексами девона (D_1-D_3fr) и фамена-карбона (D_3fm-C), выполняющими синклинальные образования. В ядрах поднятий и куполов обнажаются породы нижнего структурного этажа и интрузивные комплексы.

Разрывные структуры относятся или к собственно герцинским, или к активизированным каледонским, с преобладанием поздних (герцинских) перемещений. Наиболее значительные меридиональные нарушения (взбросы или взбросо-сдвиги, разрывы, сбросы) развиты на крыльях герцинских поднятий, где они отделяют ядра структур от погружения или осложняют их своды. Концентрация меридиональных нарушений отмечается в двух основных зонах – Кыштауской (Кыштау-Байконурской) и Идыгейской. Кыштауская зона связана с Кыштау-Сарытургайской зоной герцинской линейной складчатости (включающей и Актаускую структуру). Она выделяется по структурно-стратиграфическим признакам, интенсивному расщеплению и (в ряде случаев) по динамометральным изменениям пород обоих этажей. Идыгейская зона разрывов, сопрягающаяся с соответствующей зоной линейной складчатости, выражена менее при более низкой концентрации разрывов (типа сбросов).

Широтные и близширотные нарушения представлены большей частью сбросами ограниченной амплитудой перемещений – Котринский сброс, Серекская сбросовая серия сбросов в бортах Тамдинского прогиба и др. Возраст близширотных нарушений более молодой по отношению к меридиональным разрывам.

Зоны наиболее интенсивных дислокаций пород образуют единую меридиональную систему, расчленяющую Карсакпайское поднятие и затухающую на периферии Тургайского синеклизы. Данная система А.Е. Михайловым выделялась как "Улутауский глубокий разлом". Однако анализ геофизических материалов по данному региону (А.Я. Зюзин, 1982) показывает, что понятию "глубинный разлом" отвечают лишь ранее выделяемые Западно-

Восточно-Улутауский разломы и Карсакпайский тектонический шов, а также (приближается к нему) Кыштауская зона дислокации.

6.2. Особенности хрусталеносности района

Кварцевые жилы в границах Улутауской зоны поднятий пользуются широким распространением. По данным С.Н. Венедиктова, Я.Я. Каценбогена и др. они относятся к типичным гидротермальным телам простого выполнения трещин, образовавшимся в интервале глубин 400-1000 м. По времени формирования они соответствуют каледонскому и герцинскому этапам тектогенеза. Жилы каледонского этапа, относимые к жильной серии позднекаледонских гранитоидов, залегают в породах нижнего структурного этажа. Они сложены массивным мелко-среднезернистым кварцем, часто с линзовидно-сланцеватой или полосчато-сланцеватой текстурой. Форма зерен – неправильная, угасание – мозаичное или резко волнистое. Из минералов-примесей для них обычен мелкозернистый эпидот, альбит, мусковит (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.), реже – апатит, пирит, магнетит, сфен. Кварц иногда обогащен TiO_2 (до 0,01%). Форма жил – как правило линзо-плитообразная, размеры – до 250 м длиной и мощностью до 12-15 м (поля Космурун, Аир и др.). В ряде случаев каледонский кварц образует протяженные зоны мелких тел и прожилков (проявление Басага), с преобладанием прозрачных его разновидностей (Т до 75%); в зонах повышенных дислокаций. Промышленных скоплений, однако, подобный кварц не образует (Шатнов Ю.А., 1974г.), хрусталеносной минерализации не несет.

Герцинские кварцевые жилы, представляющие хрусталеносную кварцево-жильную формацию, какой-либо связи с интрузивными комплексами не имеют. Их минерализация связывается с двумя сопряженными стадиями единого верхнепалеозойского (верхний карбон-пермь) гидротермального цикла. Ранняя стадия представлена молочно-белым средне-крупнозернистым, иногда – гигантозернистым полигональным кварцем массивной, реже – скелетной, шестовой и друзовой текстуры. Газово-жидкие включения (ГЖВ) в кварце этого типа (Q_{II}) насыщают весь объем минеральных зерен, составляя 10^3 - 10^6 ед. на 1 см^3 . Состав включений – от существенно газовых водно-углекислотных до жидкостных, $Cl-Na-K$ и $Cl-Na-Ca$ состава. Гомогенизация включений проходит преимущественно в интервале 320-450°C (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.). Кривая декрепитации имеет мономодальный облик, с максимумом в интервале 340-460°C. Минеральные примеси протогенетической ассоциации представлены цирконом, рутилом, сфеном, реже – апатитом, турмалином, магнетитом (табл. 6.1). Из сингенетичных минералов наиболее обычны карбонаты (кальцит, доломит), реже встречаются сульфиды, полевой шпат, амфиболы, барит (в сумме до 0,002%). Химические примеси в кварце ранней стадии составляют до 0,02%, из которых наиболее существенными являются Al , Na , K , Fe (табл. 6.2.). Светопропускание кварца этого типа составляет, как правило, 5-10%; бездефектные зерна в сумме не превышают 10%. Околожильные изменения для жил этой стадии минерализации не характерны и проявлены в виде зон слабого окварцевания и рассеянной альбитизации вмещающих пород.

Поздняя стадия кварцево-жильной минерализации представлена наиболее низкотемпературной из известных в районе эндогенных минеральных ассоциаций (80-320°C). Минералы поздней стадии проявлены обычно в ранее сформировавшихся кварцевых жилах герцинского цикла, реже слагают обособленные жильные тела. Основные минералы поздней стадии – кварц и горный хрусталь. Поздний кварц (Q_{III}) в типичных образцах – серой (до дымчатой) окраски с сильным стекляннным блеском, повышенной прозрачности (Т от 25 до 80%), сумма бездефектных зерен от 20 до 85%. Структура кварца – крупногигантозернистая,

разнозернистая; текстура – массивная, шестоватая, друзовая. Форма зерен – удлиненная, угасание – почти всегда спокойное, с минимальным уровнем блокованности кварца (не более 1,5-2,5°). Гомогенизация ГЖВ проходит в интервале 270-320°, в ряде случаев и ниже. Графики декрепитации имеют также мономодальный облик, но со смещением температур растрескивания на 60-120°C в сторону низких температур (по сравнению с Q_{II}). Переходных разностей ("перекристаллизованный кварц") характерна бимодальная

Таблица 6

Состав рассеянных минералов-примесей в жильном кварце Улутауского района (по материалам Г.Н. Кокарева, Е.М. Сучковой, 1966г.)

№ № пп	Наименование месторождений	Вмещающие породы	Группы минералов-примесей (содержание в 10 ⁻⁴ %)		
			Протогенети- ческие (рутил, магнетит, цир- кон, турмалин, апатит)	Сингенетич- ные (КПШ, карбонаты, сульфиды, амфибол)	Эпигене- тические (серицит, хлорит, эпидот)
I. Ранний кварц (Q _{II}) хрусталеносных жил					
1	Актас	Гранитоиды	1,2	3,1	0,8
2	Надырбай	Серицит-кварцевые сланцы	0,22	0,6	7,8
3	Акшоки III	Песчаники	-	1,1	1,2
4	Акшоки III (Восточная жила)	Эффузивно- осадочные породы	4,3	2,7	16,8
II Поздний ("перекристаллизованный") кварц (Q _{III})					
5	Актас	гранитоиды	7,11	1,05	5,6
6	Акшоки I, Балта, Терис-Бутак	Серицит-кварцевые сланцы	0,13	1,81	2,17
7	Котр («минерализо- ванные трещины»)	Песчаники	0,14	14,84	8,32

кривая растрескивания, с дополнительным максимумом в низкотемпературном интервале. По химическому составу поздний кварц характеризуется иногда большей стерильностью, видимо, из-за меньшей пораженности ГЖВ (табл. 6.2.). С кварцем ранней стадии поздний кварц имеет, как правило, постепенные переходы; реже участки его развития отделяются зонами трещиноватости – брекчирования основной жильной породы (Q_{II}). С поздним кварцем пространственно и генетически связан горный хрусталь.

Хрусталеносные полости – обычно четко ограниченные, внутрижилые, различной формы, размерами в м^3 – 10 м^3 (максимум до 250 м^3). Гнездовое выполнение – глинистый материал, железистые охры, реже – хлорит и эпидот, в которых погружены беспорядочно ориентированные кристаллы горного хрусталя и обломочный кварцевый материал (обычно Q_{III}). Стенки полостей выполнены перекристаллизованным, часто шестоватым и друзовым, кварцем, в отдельных случаях около полостей намечается достаточно четкая текстурная зональность кварца. В обрамлении гнезд наблюдается скорлуповатая отдельность – концентрические трещины, повторяющие контуры полостей. Генетически хрусталеносные гнезда относятся к наложенным полостям растворения.

перекристаллизации [12] или к остаточным полостям (в "минерализованных трещинах"). Кристаллы горного хрусталя разнообразны (в зависимости от типа месторождений) как по форме, так и по составу, окраске, характеру дефектов, размерам и т.п. Чаще — призматические коротко-среднестолбчатые индивиды, бесцветные или слабо дымчатые; редко — цитриновой окраски.

Характерной чертой поздней стадии является большее развитие сингенетичных с кварцем III и горным хрусталем минералов-примесей (до 0,006% даже в визуально чистых образцах). В зальбандах жил и в хрусталеносных полостях их содержание достигает 5-10% и более. К главным из них относятся (по распространенности) хлорит, серицит, каолинит, эпидот, гематит; более редки пирит, рутил, актинолит.

Изменения вмещающих пород для поздней стадии характерны по своей высокой интенсивности и мощности ореолов (зоны десиликации, каолинизации, серицитизации, хлоритизации — специфичные для разных типов месторождений).

Посткварцевые минеральные образования представлены гидроокислами *Fe* и *Mn*, халцедоном, охристо-глинистыми агрегатами (в зонах трещиноватости и брекчирования, по зияющим трещинам и т.д.). В совокупности они могут составлять до 10% и более от объема жильной породы отдельных участков жил (Западное тело месторождения Акшоки).

6.3. Геолого-структурная позиция хрусталеносных объектов

В региональном плане хрусталеносная кварцево-жильная минерализация Улутауского района охватывает восточную и часть западной ветви Карсакпайского поднятия, зону линейной складчатости Тамдинского и Шагырлинского прогибов, южные выступы Арганатинского поднятия. К северу и югу от широты г. Актас — г. Котр намечается общее затухание кварценоности площади (от 0,5 до 0,1), насыщенности полей кварцевыми жилами, сокращение масштабов хрусталеносности. Максимальные концентрации жильного кварца — горного хрусталя отмечаются в зоне влияния Кыштауской (Кыштау-Байконурской) и Идыгейской тектонических зон. Последние являются, по всей видимости, основными рудоопределяющими структурами хрусталеносной кварцевой минерализации.

В то же время продуктивная (промышленно-хрусталеносная) минерализация проявлена в контурах района более локально. Из 110 выделенных полей и участков промышленная минерализация связана с жильными образованиями только 18 объектов. Четко выделяются три группы (фактически — узла) хрусталеносных полей и обособленных месторождений (рис. 23.):

1 — поля на пересечении свода Карсакпайского поднятия Кыштау-Байконурской зоной разрывов (Актасская зона);

2 — поля погружения восточной ветви Карсакпайского поднятия (Кыштау-Идыгейская зона);

3 — поля Коксайской антиклинали Арганатинского поднятия (Коксайская зона).

По классификации В.М. Крейтера позиции этих групп ("хрусталеносных зон") определяются как "участки пересечения антиклинорной структуры зоной разрывов (группа 1) и зоны погружения дополнительных антиклиналей" (группы 2 и 3).

В контурах выделенных зон положение продуктивных объектов дополнительно контролируется более локальными факторами. В первую очередь это относится к границе раздела структурных этажей. В контурах Актасской зоны контроль хрусталеносности со стороны этой границы менее четок (месторождения Космурун и Карабайтам отстоят от нее до 5-8 км, хотя основные объекты — Актас и Ащилысай ею отчетливо контролируются). По мере удаления полей от Кыштау-Байконурской зоны разрывов роль границы раздела этажей

Таблица 6.2.

Содержание элементов-примесей в жильном кварце Улутауского района (по Ю.А. Шатнову, 1985г.)

№№ п/п	Наименование месторождений	Вмещающие породы	Содержание элементов-примесей, $n \cdot 10^{-4}\%$											Кол-во анали- зов
			Fe	Al	Mg	Ca	Ti	Cu	Pb	Mn	Na	K	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>I. Ранний кварц хрусталеносных жил (Q_{II})</i>														
1.	Актас	Гранодиориты	15.2	49.7	4.7	26.1	1.8	0.2	1.0	0.8	43.8	23.6	166.9	84
2.	Акшюкы I, Кургантас	Песчаники, конгломераты	7.1	42.0	4.5	17.1	4.1	0.8	0.3	0.3	38.3	16.0	130.5	92
3.	Надырбай	Серицит-кварцевые сланцы	7.1	25.0	3.1	17.0	3.4	0.2	0.1	0.2	44.0	2.9	103.0	11
4.	Акшюкы III (Восточная жила)	Эффузивно-осадочные породы	27.0	48.0	7.7	16.0	5.9	0.2	0.2	2.1	22.0	2.4	131.5	14
	Средние		14.1	41.2	5.0	19.0	3.8	0.3	0.4	0.8	37.0	11.2	133.0	
<i>II. Поздний («перекристаллизованный») кварц хрусталеносных жил (Q_{III})</i>														
5.	Актас	Гранодиориты	12.0	25.0	5.6	53.0	0.4	1.5	0.5	2.5	27.0	12.0	127,5	18
6.	Акшюкы I, Балта, Терис- Бутак	Серицит-кварцевые сланцы	5.6	26.5	3.7	28.1	7.3	1.7	1.0	6.8	33.0	14.9	128,6	30
7.	Котр («минерализованные трещины»)	Песчаники	35.0	120	30.0	80.0	7.0	1.5	0.3	1.3			>300	2

закономерно возрастает. И для объектов Кыштау-Идыгейской и Коксайской зон влияние этого фактора практически абсолютно. При этом хрусталеносные месторождения залегают в породах как нижнего, так и верхнего этажей. Проявляется, видимо, не столько экранирующее, сколько коллекторское влияние границы раздела на исходные флюидопотоки.

В более узком плане положение хрусталеносных полей и обособленных месторождений контролируется разрывными структурами, поперечными по отношению к основной складчатости. Наиболее четко данная закономерность проявлена в зоне Котринского сброса, с которым связаны месторождения Космурун, Актас, Котр, Бусторау; в Серекской зоне сбросов, где локализованы месторождения Серек и Надырбай. Локальные позиции большинства месторождений могут характеризоваться как "участки пересечения границ раздела структурных этажей поперечными (широтными) разрывами". Будучи наиболее поздними разрывными структурами района, поперечные нарушения служили, по всей вероятности, основными рудоподводящими каналами продуктивной минерализации.

Структуры самих хрусталеносных полей и обособленных месторождений относятся как правило к осложняющим положительным формам III-IV порядков. При этом значение их как локализаторов продуктивной минерализации определяется (по Каценбогену Я.Я., 1966г.) последовательностью:

- горсты и горст-антиклинали;
 - своды антиклиналей высокого порядка;
 - брахиантиклинали и пологие антиклинальные перегибы.
- Все наиболее продуктивные месторождения района (Актас, Ащилысай, Надырбай, Серек) локализованы в структурах горст-антиклинального типа.
- Морфологически хрусталеносные поля с промышленными месторождениями относятся к уплощенно-коническому типу (коэффициент линейности $Kл = 0,33$), в то время как среди нехрусталеносных и слабо хрусталеносных объектов преобладают плоские ($Kл = 0,14$) и конические ($Kл > 0,5$) фигуры.

Промышленно-хрусталеносные месторождения в границах Улутауского района залегают в породах различных литолого-стратиграфических комплексов. Позиция месторождений и характер вмещающей среды определяют их морфологические и минерализационные особенности. Условно выделяется четыре типа продуктивных объектов – актасский (в гранодиоритах), ащилысайский (в ордовикских терригенных породах), надырбайский (в докембрийских сланцах) и котринский (в осадочных породах девона). Их конкретные характеристики рассматриваются на примере типовых месторождений каждой группы.

6.4. Месторождение Актас

Месторождение Актас (Актас II) приурочено к горстовому блоку на периферии Кантюбинского гранитоидного массива, имеющего и в плане, и в разрезе клиновидную форму (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.). С запада и востока горстовая структура ограничена сопряженными локальными взбросами, падающими навстречу друг другу под углом 70° и 75° (по Я.Я. Каценбогену – Западно-и Восточно-Актасский разломы). С севера структура блокируется одним из нарушений системы Котринского сброса, на юге постепенно выклинивается по мере смыкания взбросов. Общие линейные параметры горстовой структуры – до $3,5 \times 1,5$ км, предполагаемая глубина выклинивания – 1,0 км. Формирование горстового блока связывается с развитием Кыштау-Байконурской системы нарушений в апикальной зоне Кантюбинского интрузива. На это указывает развитие на площади месторождения "останцов" кровли массива, представленной песчаниками и

конгломератами девонской толщи (рис. 24.). С запада прослеживается дизъюнктивный контакт "кантиубинских" гранитоидов с граносиенитами верхнепротерозойского комплекса

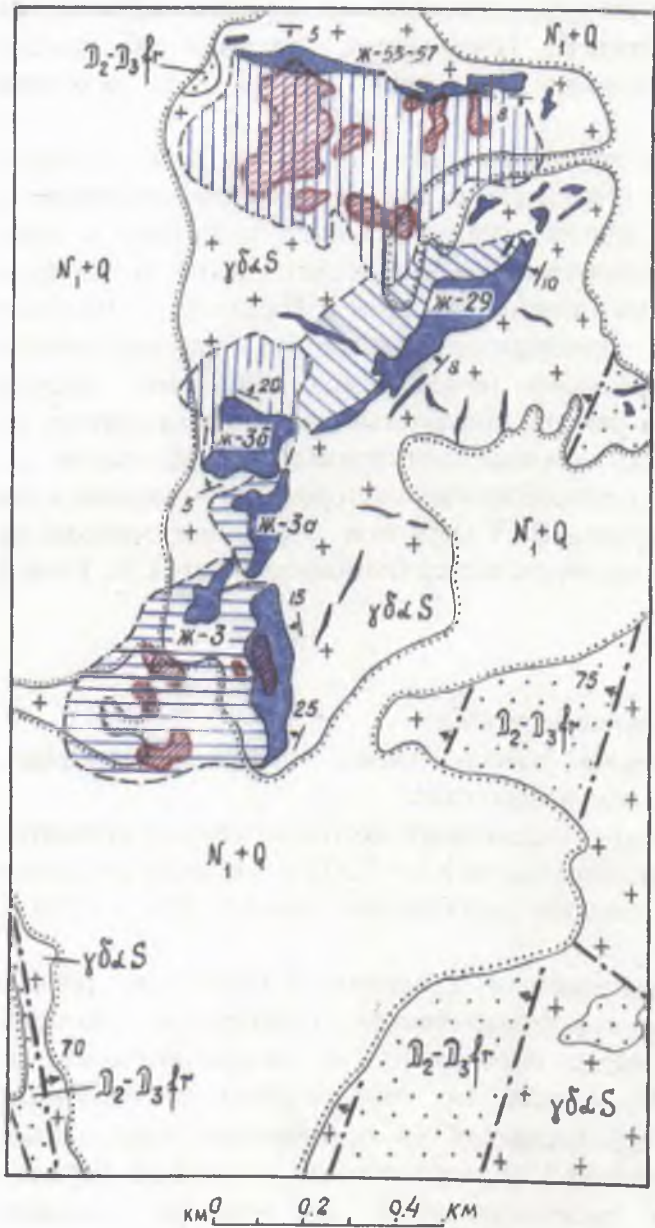


Рис. 24. Геологическая схема месторождения Актас-II (по Ю.А. Шатнову, 1972г.)

- 1 – рыхлые отложения.
- 2 – песчаники жаксыконской серии.
- 3 – гранодиориты кантиубинского массива.
- 4 – кварцевые жилы (коренные выходы),
- 5 – кварцевые жилы (участки скрытого залегания),
- 6 – обогащенные хрусталеносные узлы.
- 7 – разрывные нарушения.
- 8 – элементы залегания кварцевых жил

измененный туффит – туфопесчаник, характерный для зон основных нарушений Байконурской системы (прослеживается и к югу, и к северу от площади месторождения).

Разрывные структуры на западе месторождения фиксируются зоной брекчирования кремнистых и обожженных пород шириной 40-60м. По выделенным нарушениям предполагается воздымание горстового блока не менее чем на 50 м (Каценбоген Я.Я., В.П. и др., 1966г.). С этими перемещениями связывается развитие системы жил, вмещающих трещин, первично заложенных в виде трещин контракции в гранитоидном массиве. Основной рудоподводящей

Вмещающий порода Кантюбинского массива гранодиориты представляющие его главную фацию; крупнозернистые массивной текстуры, иногда порфировидные. Состав кислый плагиоклаз (30-40%), микроклин (30-35%), кварц (15-20%), роговая обманка биотит (до 10-15%); примеси циркон, апатит, сфен, магнетит, гематит. До глубины 15-20 м гранодиориты выветрены, кора выветривания – глинистого профиля. Перекрывающая толща девонских отложений (D2-D3fr) в основании представлена базальными конгломератами мощностью до 10 м; цемент породы – туфопесчаник (20-30%). Основной разрез толщи туфогенные песчаники алевролиты. Залегание пород – пологое (nd 3 <10-15°) в зоне обнажений интенсивно рассланцованы (жильчатость, разлистования), с падением сланцеватости к 3 под углом 30-70°. Состав пород кварц-хлорит-серицитовый; основная лепидобластовой структуры, реликтами катаклазированных полевых шпатов, обломочного материала и др. В целом порода определяется как динамотермальная.

структурой признается зона Западно-Актасского взброса.

Кварцевые жилы

На площади месторождения Актас зафиксировано около 100 кварцевых жил, разнообразных по размерам, форме, условиям залегания и др. В то же время основной объем (99%) кварцевой минерализации сосредоточен в 5 жильных телах (жилы № 3, За, 3б, 29 и 55-57), образующих единую жильную зону пологого залегания с линейными размерами 1,5х0,8 км (рис. 24.). Отдельные жилы – пологие, с падением в западные и южные румбы под углом 5-25°. Форма тел – неправильно плитообразная, с многочисленными купольными осложнениями, перегибами, апофизами, ступенчатыми изгибами и т.п. Линейные параметры в плане – до 600 м (жила № 55-57), мощность – до 25 м и более. В разрезе жилы кулисообразно перекрывают одна другую.

Внутреннее строение жильных тел, как правило, сложное, обусловленное развитием кварца различного типа и наличием субсогласных зон брекчирования – трещиноватости (жилы № 3, № 29) мощностью до 2,0 м. Насыщенность брекчии кварцевым материалом 70-90%. На контакте кварцевых жил наблюдаются участки развития рассланцованного (динамометаморфизованного) халцедоновидного кварца ("кварц-сухарь"). В отдельных нехрусталеносных телах (жила № 3б) отмечается повышенная зараженность кварца карбонатом (доломит, анкерит), мелкозернистым эпидотом.

Особенностью месторождения Актас является интенсивное развитие позднего кварца (Q_{III}). Он составляет до 50% западного (хрусталеносного) интервала жилы № 55-57, а также отдельные более мелкие участки на жиле № 3. По своим физическим характеристикам в целом кварц достаточно четко отражает уровень хрусталеносности жильных тел (поздний кварц – только в хрусталеносных жилах). По химическому составу кварц обеих стадий характеризуется обычно повышенной (по сравнению с жилами других объектов) чистотой (табл. 6.2.). Минеральные поздние примеси в жилах месторождения – по сути типовые для хрусталеносных кварцевых жил района: гематит (железная слюдка), хлорит, халцедон, реже – радиально-лучистый эпидот (табл. 6.1.).

Хрусталеносные полости месторождения Актас – различных размеров и формы, что характерно для наложенных образований. Максимальный отработанный погреб имел объем около 250 м³ (центральная часть жилы № 55-57). Гнезда – внутрижильные, гнездовое выполнение – кварцево-глинистый агрегат, часто обохренный. Кристаллы горного хрусталя – бесцветные, коротко-среднепризматические, размером до 0,6 м по L₃. Основной дефект кристаллосырья – ГЖВ, двойникование, зараженность хлоритом (до 15-20% всех кристаллов), реже – гематитом. Для жилы № 3 были характерны щелевидные полости с тригональными кристаллами горного хрусталя повышенного качества. Из кристаллосырья месторождения обеспечивается удовлетворительный выход пьезокварца и горного хрусталя для плавки, хотя качество сырья обоих типов невысокое (табл. 6.3.). Тем более, что по химизму горный хрусталь относится к достаточно загрязненным разностям (табл. 6.4.).

Продуктивные полости во всех хрусталеносных жилах месторождения Актас (жилы № 3, За и № 55-57) образуют четкие "рудные столбы" (Шатнов Ю.А., 1974г.). Максимальных размеров достигает обогащенный интервал жилы № 55-57, приуроченный к участку пересечения жилы с зоной дорудной трещиноватости. Это обогащенная зона размерами ~ 200х100 м, ориентированная под углом 60° к простиранию жилы. Внутри зоны полости концентрируются в куполообразных осложнениях жилы и на сопряжении ее с крупными апофизами.

На жилах № 3 и За хрусталеносные гнезда концентрируются непосредственно в участках куполовидных осложнений. Эти узлы – с очень четкими контурами, меньших

Таблица 6.

Сортность пьезооптического сырья месторождений Улутауского района
(по Г.Д. Аерову, Ю.А. Шатнову, 1988 г.)

№ № пп	Наименование объектов	Горный хрусталь для плавки					Пьезооптический кварц					
		Выход из кристаллосырья, %		Сортность сырья, %			Выход из кристалло сырья, %	Сортность сырья, %				
		а	б	Іс	ІІс	ІІІс		Опти- ка	Экст- ра	Выс- ший	Іс	ІІс
1	Месторождение Актас											
	Жила №55-57 (основной блок)	28	51	4,7	47,7	47,6	0,17	0,6	1,8	3,7	30,7	63,3
	Жила №3	?						-	57		11	32
2	Месторождение Ащилысай	36					3,9	-	1,3	30,5	36,7	31,3
3	Месторождение Надырбай	42,7		31,5*	30,4	38,1	0,07	-	-	7,7	22,4	69,3
4	Месторождение Котр (в целом)	25		-	22	78	0,05	-	-	20,3	24,8	54,9
	Жила № 25						0,04					
	Жила № 90						0,16					

а – вариант ручного обогащения
б – вариант механического обогащения (через галтовку)
*-по ЭП не соответствует

Таблица 6.

Содержания элементов-примесей в горном хрустале Улутауского района
(по Г.Д. Аерову, 1984г., С.А. Емельянову, 1978г.)

№№ пп	Наименование объектов	Содержание элементов-примесей, n·10 ⁻⁴ %										Ко-л-во проб
		Fe	Al	Mg	Ca	Ti	Cu	Pb	Mn	Na	K	
1	Месторождение Актас (жила №55)											
	среднее	7	40	7	4	4	-	-	0,3	12	15	6
	min	3	20	1	0	3	-	-	0,1	5	5	
	max	10	70	15	10	5	-	-	0,8	15	30	
2	Актас (жила №57) среднее	4	30	2	10				10			1
3	Месторождение Надырбай											
	среднее	2,7	25	3,1	16	3,5	0,2	0,1	0,2	21	2,6	11
	min	0,5	2	1,4	2	1,8	-	-	-	6	0,9	
	max	6,5	56	9	27	9,3	0,3	0,2	0,4	45	8,3	

размеров в плане (до 150x80 м), тяготеют к висячему боку жил. "Узловой" характер распределения полостей обуславливает контрастность минерализации – показате. продуктивности тел (отношение хрусталеносных интервалов к общей площади жил)

К сожалению, данные декрептометрии и геохимии только повторяют (и подтверждают) петрографическую зональность околожильных ореолов; дополнительная информация о развитии продуктивной минерализации минимальна.

Практическая оценка месторождения Актас

Месторождение Актас, открытое в 1949 г., до середины 60-х годов изучалось и эксплуатировалось как наиболее крупный хрусталеносный объект Улутауского района — источник пьезооптического кварца и плавочного сырья. В 1966-1969 гг. оно дополнительно изучалось на возможность использования слагающего его жильного кварца (Бляхман И.И. и др., 1969г.), а с 1969 и по 1995 год и эксплуатировалось в первую очередь как кварцево-жильный объект. Пьезокварц и горный хрусталь для плавки по мере необходимости утилизируются в качестве попутных компонентов этого комплексного месторождения.

В 1983 году проводился пересчет запасов всех видов сырья месторождения (Аеров Г.И., Казанцев С.К. и др., 1984г.), в соответствии с которым оно отнесено к крупным месторождениям кварца для оптического стекловарения и горного хрусталя для плавки. Средним месторождением природного пьезокварца. В 1995 г. эксплуатационные работы на месторождении прекращены в связи со сложившейся политической и экономической ситуацией в границах бывшего СССР. Конкретные характеристики запасов кварцевого сырья различных типов, учтенные государственным балансом, а также отработанные запасы отражены в таблице 6.5. Сортность сырья, извлекаемого из кристаллов горного хрусталя, приведена в таблице 6.3.

Ресурсы месторождения практически полностью оценены на уровне предварительных разведочных работ, с доведением запасов до категории C_2 , C_1 и B (по жильному кварцу). Дополнительные резервы на месторождении могут быть связаны с его крайним юго-восточным флангом, где установлено развитие жил скрытого залегания.

В целом для месторождения характерна высокая надежность запасов всех видов полезных ископаемых. При пересчете запасов в 1983 году получены следующие оценки достоверности содержаний полезных компонентов:

по пьезокварцу — 97,3%

по горному хрустально для плавки — 94,2%

по жильному кварцу — 105%.

Эти данные получены за более чем 15-летний период интенсивной эксплуатации и могут рассматриваться как уникальные для хрусталеносных месторождений. Они обусловлены, во-первых, весьма представительным объемом опробования объекта при подсчете запасов. Во-вторых — связаны с оптимальным учетом геологических особенностей месторождения (в отношении распределения хрусталеносной минерализации) при блокировке запасов (Бляхман И.Е., Шатнов Ю.А. и др., 1969г.).

Кроме месторождения Актас к хрусталеносным жилам, залегающим в гранитоидном массиве, относится месторождение Сарысай (18 км южнее), но оно является лишь мелким плавочным объектом и не заслуживает серьезного внимания.

6.5. Месторождение Ащилысай

Месторождение Ащилысай (вместе с месторождениями Космурун и Карабага) представляет специфичную для Улутауского района группу хрусталеносных штокверных образований. Оно входит в Ащилысайское хрусталеносное поле, расположенное в центральной части Актасской хрусталеносной зоны. Контролирующая зону Кызыл-Байконурская система разрывов на этом интервале трассируется рядом СВ разрывов.

Таблица 6.5.

Основные геолого-экономические характеристики хрусталеносных месторождений Улутауского района (по Ю.А. Шатнову, 1985г.)

№№ пп	Наимено- вание месторож- дений	Параметры жил (зон), м			Глубина развития жил, м	Угол падае- ния тел	Мощ- ность около- жиль- ных орео- лов, м	Парамет- ры хрус- таленос- ных ин- тервалов жил, м	Коэф. продук- тивнос-ти жил, %	Содержание сырья		Запасы пьезокварца, кг/мнбл		Запасы горного хрустала для плавки, т	
		l	h	m						Пьезо- кварц, г/м ³	Горный хрусталь для плавки, кг/м ³	Всего	в т.ч. отра- ботан- ные	Всего	в т.ч. отра- ботан- ные
1	Актас (всего)											7439	2963	(1157)	(338)
	Жила № 55-57	600	280	5-20	60	25°	До 15	До 100х200	25	7.20	1.13	3752	1712	751	200
	Жила №3	550	380	10-25	150	30°	До 25	До 80х150	18	5.3	(0.83)	3687	1251	(406)	(138)
2	Ащилысай	135	75	20	22	10°	В гра- ницах зоны	Тела мощно- стью >0.4	K _{кв} 25	8.3*	0.5*	1776	1654	65	52
3	Надырбай	325	130	5-17	30	10°	До 11	100х60	15	11.0	6.4	504	303	318.6	201.6
4	Котр (всего)	16 продуктивных жил			До 40	До 45°			K _{кв} 25-80	1.5-18	0.7-4.0	497	414	260	198
	Жила №25 (зона)	120	40	До 8	18	25-45°	До 2	Тела в плане 30х8	K _{кв} 80	9.0*	4.0*	40	40	17.5	17.5
	Жила №90 (зона)	100	70	До 8	20	10°	До 5	До 40х5	K _{кв} 50	18*	2.7*	298	298	45.2	45.2

* — содержание сырья на продуктивную массу;

(138) — предполагаемые данные по сырью для плавки (отрабатывавшиеся до 1956г.)

Сарысайской грабен-синклиналью (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.). Ащилысайское поле непосредственно приурочено к участку осложнения западного крыла этой структуры, к зоне влияния наиболее значительного из разрывных нарушений - Актаасского взброса. Взброс имеет достаточно пологое СЗ падение ($40-45^\circ$). За счет перемещений по взбросу сформировалась блокированная брахиантиклиналь (горст-антиклиналь) IV порядка, осложняющаяся в свою очередь локальными структурами перемещения. Месторождение непосредственно контролируется одной из таких структур (Ащилысайский пологий взброс), располагаясь в его висячем блоке на участке горизонтального изгиба.

Площадь поля и месторождения сложена ордовикскими флишоидными породами (Панов Л.А., Эфрос Б.Д. и др., 1962г.). Они представлены песчаниками, алевролитами, реже аргиллитами, андезитовыми порфиритами, находящимися в различных соотношениях в разных пачках толщи. Состав песчаников - преимущественно аркозовый (до 60% полевошпата - кислого плагиоклаза); структура - мелко-крупнозернистая, до гравелистой. Цемент - базальный или поровый, также кварц-полевошпатового состава, с пелитом и серицитом в новообразованиях. Текстура - преимущественно массивная и сланцеватая. Глубина приповерхностного выветривания - порядка 7-12 м от дневной поверхности. Ордовикский комплекс перекрывался, по всей вероятности, кремневыми известняками, обнажающимися на современном срезе в 750 м восточнее месторождения, в крыле Сарысайской синклинали.

Простираание ордовикской толщи - субмеридиональное; $nd\ 3\ 45^\circ$. По восстанию (к востоку) отмечается выполаживание пластов, с образованием пологого флексуобразного перегиба. Общее погружение складчатой структуры - пологое юго-западное. Основная разрывная структура месторождения (сдвига-взброс, именуемый Главным разломом) имеет субсогласное с ордовикскими породами залегание ($nd\ СЗ\ 25-30^\circ$). Представлен взбросом зоной расланцевания, трассированной железисто-кварцевыми прожилками, окварцеванием и более поздней аргиллизацией. Амплитуда перемещений в его плоскости до 80 м (по Я.Я. Каценбогену). С Главным разломом сопряжена серия пологих разрывов с малыми амплитудами перемещений, обусловивших развитие кварцлокализирующих трещинных зон.

Кварцево-жильная и хрусталеносная минерализация

Морфологически месторождение Ащилысай представляет собой субизометричную в плане штокверкообразную зону с линейными параметрами около 175×135 м (рис. 25). Глубина развития продуктивной части зоны ограничивается 25-30 м. Залегание её в плане субсогласное с Главным разломом, с падением к СЗ под углом до 30° . И в плане, и в разрезе зона расчленяется на несколько обособленных "ветвей" субсогласной с разломом ориентировки (Шатнов Ю.А. и др., 1988г.). В плане "ветви" выделяются по повышенным значениям коэффициента кварценоности (рост до 40-60% против $K_{cp} = 25\%$).

Кварценоность штокверка в плане (отношение площади проекций жил к общей площади зоны) составляет около 75%. Образующие месторождение "ветви" относятся к двум основным типам: 1) собственно штокверковые образования с разно ориентированными жильными телами и прожилками, 2) зоны с преобладанием линейных жил. Мощность отдельных жил достигает 2,5 м; протяженность - первые десятки метров.

Основная масса жильной породы представлена поздним кварцем (Q_{III}). Она характеризуется серой и светло-серой окраской, сильным блеском, относительно высокой прозрачностью. Структура - крупно-гигантозернистая; текстура - как массивная, так и шестоватая, переходящая в друзовую. Деформационные структуры в кварце проявляются

(около 30 м^3). Форма щелевидная, овальная, реже – неправильная; гнезда обычно вытянуты вдоль простирания штокверка. Гнездовое выполнение – бурая железистая глина, гипс, железисто-кварцевая брекчия. Окологнездовый кварц – пластинчатый, скорлуповатый, интенсивно ожелезненный – омарганцованный. Кристаллы горного хрусталя – короткопризматические, реже – длиннопризматические, обелисковидные. Размер кристаллов – до 48 см по L_3 , обычно 10-15 см. Кристаллы – бесцветные или со слабым дымчатым оттенком, как правило – с железистой "рубашкой". Основные дефекты кристаллов – трещиноватость, двойники, иногда – присыпки хлорита.

Распределение хрусталеносных гнезд в контурах штокверка сравнительно равномерное (рис. 25.) – столь четких "рудных столбов", какие отмечены на месторождении Актас, не установлено. Однако полости, особенно – крупные, тяготеют к блокам с повышенной кварценосностью на минимальном удалении от Главного разлома (10-20 м). В более детальном плане положение гнезд контролируется раздувами жильных тел, участками их пересечения (с образованием своеобразных "камерных" жил), перегибами жильных тел.

Существенных различий в характеристиках жильного кварца более хрусталеносных и менее продуктивных интервалов не установлено.

Околожильные ореолы

На месторождении Ащилысай, как и на большей части хрусталеносных объектов района, развита достаточно мощная кора выветривания (до 7-20 м). Однако интенсивность проявления процессов выветривания, их связь с определенными геологическими элементами позволяет предполагать наложение коры на достаточно мощные зоны гидротермально-метасоматических изменений (рис. 26). К наиболее ранним изменениям пород в околожильном пространстве относятся зоны окварцевания (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.). Они проявлены вдоль Главного разлома в виде ореолов развития волосовидных и неправильных агрегатов кварцевых зёрен, замещающих цемент вмещающих жилы песчаников, в ассоциации с пиритом. Зоны окварцевания проявляются в виде бурых ореолов мощностью до 1 м, в том числе внутри зон более поздних изменений.

Непосредственно в границах штокверка вмещающие породы превращены в бесструктурную желтовато-серую или охристую массу (Шатнов Ю.А. и др., 1988г.). Ее состав (по Г.Л. Ахметовой, 1984г.) – кварц, каолинит и серицит, находящиеся в различных соотношениях. Изменения этого типа (зона аргиллизации) прослеживаются и вдоль разрывных нарушений, до глубины 60-70 м (рис. 26). В приповерхностных интервалах зон устанавливается интенсивное развитие гидрослюд. По интенсивности изменений, их соотношению с зонами окварцевания намечается своеобразная вертикальная зональность минерализации. По Я.Я. Каценбогену, развитие зон аргиллизации однозначно связывается с процессами хрусталеобразования. В то же время, в связи с однотипностью каолинита на всех интервалах зон (слабоупорядоченного, типа IX по Б.Б. Звягину), не исключается его развитие в гипергенных условиях. И формирование зон аргиллизации сегодняшнего облика обусловлено наложением процессов выветривания на кварц-серицитовые гидротермалиты.

Визуально выделяющиеся зоны петрографических изменений сопровождаются геохимическими ореолами. Индикаторные свойства в той или иной мере проявлены со стороны Zn , Mn , Ti и Pb (из 38 изученных элементов). В наиболее четкой форме проявляется аномалия Pb (превышение фона более чем в 2 раза), локализуемая в контурах зоны максимальной аргиллизации пород со стороны лежащего бока жильной зоны. За пределы зон изменений геохимические аномалии не выходят. Декрептометрические характеристики проявляют четкую индикаторную роль в тех же зонах интенсивных гидротермальных изменений. Декрептоактивность пород этих зон в температурном интервале $100-340^\circ\text{C}$ резко превышает фоновые значения. В зонах слабых петрографических изменений аномальных

значений декрептоактивности не установлено.

Перспективная оценка месторождения Ащилысай

Месторождение Ащилысай является одним из немногих хрусталеносных объектов Улутауского района существенно пьезокварцевой специализации. Из кристаллосырья обеспечивался максимальный для района выход пьезокварца (3,9%), при достаточно высоком его содержании на жильную и продуктивную массу (табл. 6.5). Сортность пьезокварца — также наиболее высокая среди месторождений Казахстана (табл. 6.3), при выходе сортов "экстра", высший и I около 79%. В то же время содержание плавочного горного хрусталя и его выход из кристаллосырья ниже, чем по другим промышленно хрусталеносным объектам (табл. 6.5). К тому же качество плавочного сырья (его химсостав), судя по составу сингенетичного с ним жильного кварца (Q_{III}), было очень невысоким*.

По масштабам минерализации месторождение Ащилысай относится к средним пьезокварцевым объектам (при отработке извлечено 1654 кг моноблоков). За период 1956-58гг. месторождение (его основная продуктивная часть) практически полностью отработано.

Оставшиеся не выбранными фланговые участки (южная и северо-западная части штокерковой зоны ниже подошвы добычного карьера) характеризуются ограниченными размерами, наличием лишь мелких хрусталеносных полостей и не обеспечивают (по расчетам 1958 г.) даже минимальной рентабельности эксплуатационных работ. Возможные невыработанные запасы не превышают 10-15% от извлеченного сырья (Замиралова Т.В., Маслова В.И., 1958г.).

6.6. Месторождение Надырбай

Месторождение Надырбай является типовым объектом хрусталеносных образований северной части Улутауского района (Кыштау-Идыгейской и Коксайской хрусталеносных зон), к которым относятся Бусторау II, Серек, Акшоки, Шагырлы, Балта, Восточное, Терис-Бутак, Коксай, Кен-Саз и Кара-Ашик. Из них Надырбай, Серек и Акшоки являются средними хрусталеносными объектами; остальные относятся к мелким месторождениям.

Месторождение Надырбай (Аеров Г.Д., Шатнов Ю.А. и др., 1988г.) входит в систему хрусталеносных объектов Кыштау-Идыгейской зоны. Оно приурочено к западному погружению восточной ветви Карсакпайского поднятия. В этой герцинской структуре месторождение локализуется в границах влияния широтного горста, образованного Серекской системой сбросов и расположенной южнее сходной разрывной зоной. Площадь включающего объект жильного поля сложена метаморфизованными эффузивно-осадочными породами среднего протерозоя. К ним относятся blastopсаммитовые сланцы, филлиты, порфириды, реже — кварциты, мрамора, образующие в комплексе нижнего структурного этажа субмеридиональную Надырбайскую синклиналь. Площадь поля непосредственно примыкает (на востоке) к зоне Карсакпайского тектонического шва, на западе — ограничивается зоной сочленения структурных этажей. Верхний этаж представлен типовым разрезом жаксыконской серии ($D_2 - D_{3fr}$).

Непосредственно месторождение приурочено к пачке моноклинально залегающих, юго-восточного падения серицит-кварцевых сланцев. Состав сланцев — до 30-40% серицита, до 60-70% тонкозернистого кварца, с реликтами плагиоклаза, амфиболов и др. По скважинам отмечались кварц-хлорит-серицитовые сланцы. Образование их связывается с

* — На период отработки месторождения состав горного хрусталя практически не изучался.

диафторическими преобразованиями кристаллических сланцев (полевошпат-амфиболовых, кварц-полевошпатовых и др.). На всей площади месторождения фиксируются выходы

Кварцево-жильная минерализация

На площади участка известно более 15 кварцевых жил, однако хрусталеносной является лишь одна из них — жила № 5, выделяемая как собственно месторождение Надырбай (Емельянов С.А., Максюшина В.Г. и др., 1978г.). Она представляет собой осложненного строения кварцево-жильное тело протяженностью около 325 м и мощностью от 5 до 17 м, по падению жила протягивается на 60-130 м (рис. 27.). Падение жилы — на С под углом 25-30° (на северном фланге и в среднем интервале), под углом до 45° на южном фланге. В зоне северного фланга жила разделяется на две субпараллельные ветви, в сочленении которых отмечается максимальная ее мощность (до 17м). При общем наклонном залегании жила имеет четко выраженное склонение к северу — северо-западу, в связи с которым ее северный фланг имеет фактически скрытое положение в разрезе. Глубина погружения верхнего контура жилы на этом участке около 12 м.

Жила сложена массивным серовато-белым и серым крупнозернистым кварцем типичным кварцем ранней стадии (Q_{II}). В то же время значительные интервалы жилы, особенно в центральной и северной части, сложены крупно-гигантозернистым массивным иногда — шестоватым и друзовым полупрозрачным светло-серым поздним кварцем (Q_{III}). Участки его развития захватывают практически всю мощность жилы. На выклинивании жилы, а также у зальбандов кварц интенсивно трещиноват (до 50 трещин на 1 пог.м). По трещинам развивается бурая глина, гидроокислы Fe и Mn, халцедон-железистый агрегат. Из эндогенных примесей отмечены гранат, эпидот, пироксен, амфибол, гематит, хлориды, карбонаты. Обычно это — единичные знаки (общие содержания силикатных включений — выше 0,0008%, окрашивающих — до 0,003% в визуально чистом кварце).

Химический состав кварца довольно стабилен, со слабыми различиями в содержании основных элементов-примесей в раннем и позднем кварце на различных интервалах жильного тела (Аеров Г.Д., Шатнов Ю.А. и др., 1988г.). Декрепитоактивность кварца в низкотемпературном интервале (100-360°) имеет четко проявленную тенденцию к росту в позднем кварце или на участках развития кварца обоих типов (на северном фланге месторождения). В этом же направлении намечается рост показателя светопропускаемости кварца, снижение уровня развития деформационных структур.

Особенности хрусталеносности месторождения Надырбай

Хрусталеносная минерализация на месторождении проявлена неравномерно. На южного фланга и среднего интервала жилы № 5, на всем протяжении ее выхода на дневную поверхность, характерны разрозненные мелкие хрусталеносные полости — округлые, до 10 см в поперечнике ("полости растворения" по А.И. Захарченко). Полости содержат как правило мелкие, невысокого качества кристаллы горного хрусталя, частично пригодные для использования в пьезотехнике.

Промышленная хрусталеносная минерализация проявлена в контурах локального "хрусталеносного узла", приуроченного к северному флангу жилы (Шатнов Ю. А. и др., 1988г.; Емельянов С.А., Максюшина В.Г. и др., 1978 г.) на сочленении субпараллельных ветвей жилы. Как и весь северный фланг месторождения, «узел» не выходит на дневную поверхность (по сути — объект скрытого залегания), локализуясь в интервале глубин от 10 до 20 м. Намечающиеся параметры "хрусталеносного узла" в плане — 75х50 м, минерализация охватывает всю мощность жильного тела (17 м). Хрусталеносные полости зд.

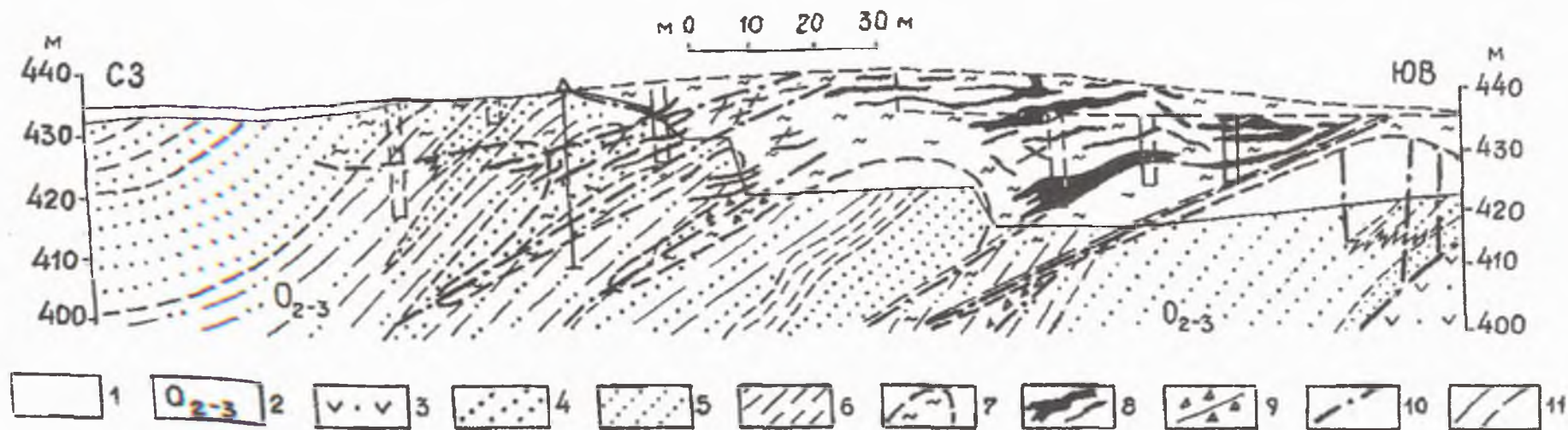


Рис. 26. Месторождение Ащилысай. Разрез (по Я.Я. Каценбогену, 1962 г.)

1 – рыхлые отложения. 2 – дулыгалинская свита (ордовик). 3 – вулканогенно-осадочные породы. 4 – песчаники крупнозернистые. 5 – песчаники мелко-и среднезернистые. 6 – аргиллиты – алевролиты. 7 – гидротермальные изменения. 8 – кварцевые жилы. 9 – минерализованные трещины. 10 – тектонические нарушения. 11 – линии простиранья слонистости

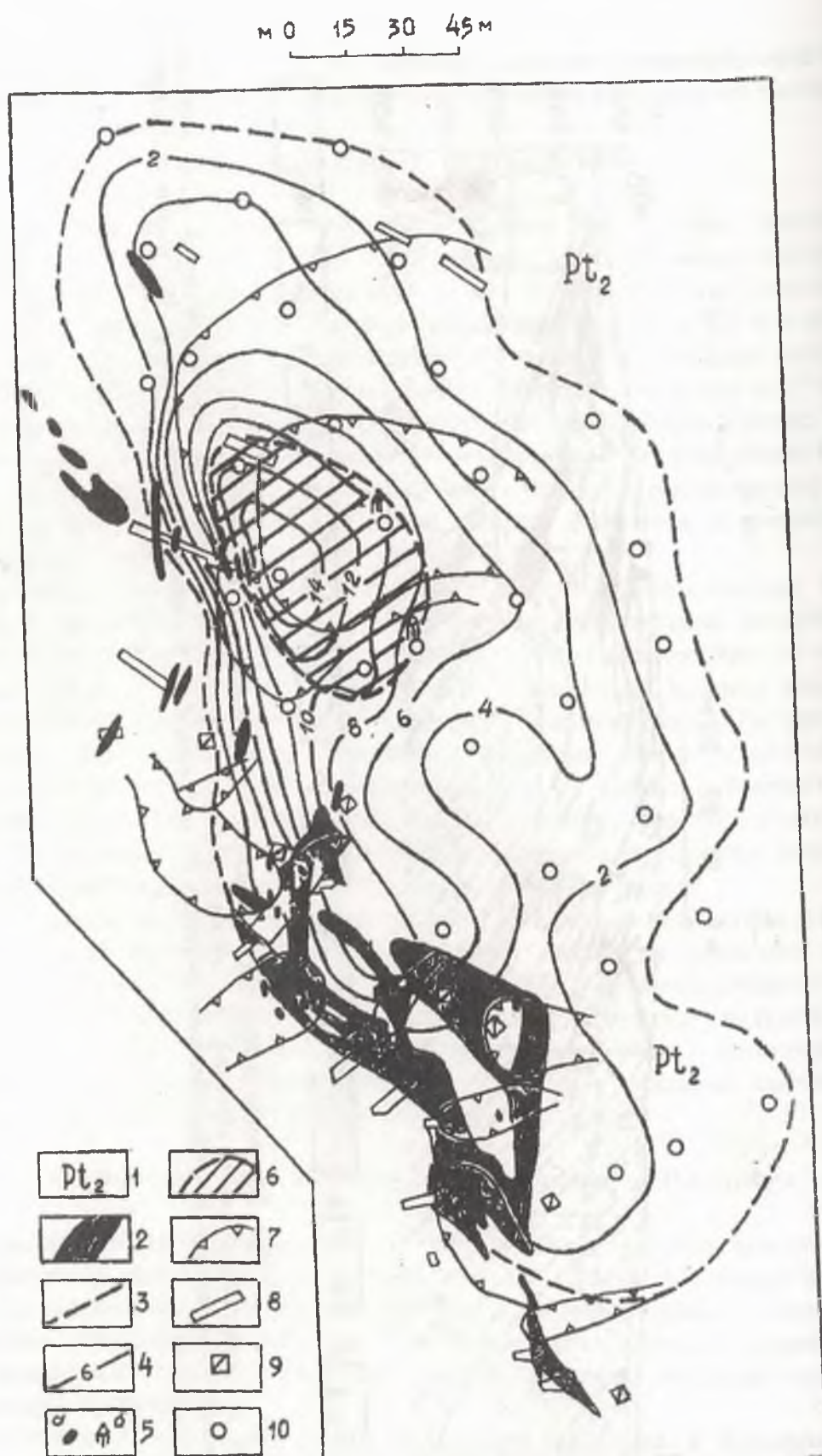


Рис. 27. Месторождение Надырбай. Геологический план жилы № 5.
(по Ю.А. Шатнову, 1983г.)

1 – средний протерозой, кварц-хлорит-серицитовые сланцы. 2 – коренные выходы кварцевых жил. 3 – кварцевой жилы на глубине. 4 – изопакеты жильного тела. 5 – хрусталеносные полости: а) вскрытые выработками, б) подсеченные буровыми скважинами. 6 – обогащенный хрусталеносный «столб», 7 – 8 – канавы. 9 – шурфы. 10 – скважины

грубоизометричные или эллипсовидные, до 3 м в поперечнике. Обычны единые системы из нескольких полостей протяженностью до 10 и более метров. Границы гнезд – четкие, окаймляются зонами скорлуповатого ("концентрическая скорлуповатость" вокруг полости) полупрозрачного кварца. Массивный или слабо брекчированный полупрозрачный кварц (Qm) слагает и основную массу жильной породы в границах "узла" (до 70%). Хрусталеносные полости отвечают понятию типичных "полостей растворения и перекристаллизации" жильного кварца.

Кристаллы горного хрусталя месторождения Надырбай – коротко-среднепризматические, в различной степени замутненные ГЖВ, обычно слабо трещиноватые, бесцветные или слабо дымчатые, иногда со слабым цитриновым оттенком. Отмечаются включения хлопьевидного хлорита, реже – гематита. Размеры кристаллов – до 0,6 м по L_3 , при весе до 30-40 кг. Крупные кристаллы как правило поражены двойниками обоих основных типов, замутнены и более трещиноваты. С поверхности имеют железистую или марганцовистую "рубашку", иногда обрастают почковидными стяжениями гидроокислов Fe и Mn. Масса гнездового выполнения представлена охристо-глинистым материалом или кварц-железисто-марганцовистой "сыпучкой"; насыщенность гнездовой массы кристаллами горного хрусталя – до 50-60%. Из кристаллосырья обеспечивается повышенный выход плавочного сырья, хотя из-за высоких содержаний химических примесей сортность его низкая (табл. 6.4.). Выход пьезокварца относительно невысок (по сути – попутный компонент).

"Хрусталеносный узел" месторождения в отношении особенностей вещественного состава изучен, к сожалению, недостаточно. На примере других месторождений такого же типа (Акшоки, Терис-Бутак, Балта) установлено снижение в кварце хрусталеносных интервалов жил содержаний ряда элементов-примесей (Na, Ti и K), резко повышенное светопропускание (Шатнов Ю.А., 1974г.). Непосредственно на месторождении Надырбай в кварце этих интервалов отмечено развитие пирита, гематита, хлорита (хотя и в ограниченных масштабах); специфично интенсивное омарганцевание. Повышена декрептоактивность кварца в низкотемпературном интервале (100-360°C), низки значения деформационных характеристик (блокованность и мозаичность погасания зерен).

Околожильные изменения вмещающих пород

Околожильные изменения на месторождении Надырбай развиты неравномерно. В основном проявлены наиболее поздние гидротермально-метасоматические процессы, отождествляемые с хрусталеносной стадией минерализации. Предрудные (предхрустальные) изменения представлены реликтами участков окварцевания вмещающих сланцев. К ним же следует отнести зоны околожильного "смятия" – дезинтеграции пород, достигающие мощности 3-4 м (на северном фланге).

Зона поздних изменений на южном (слабохрусталеносном) фланге месторождения не превышает по мощности 1,5 м, за пределами этой зоны вмещающие сланцы и порфиригиты слабо освещены (возможно, за счет выветривания). В северном направлении мощность околожильных изменений постепенно возрастает, и в максимальной степени они проявлены на хрусталеносном интервале северного фланга. Достоверно установленная мощность изменений со стороны висячего бока достигает 11 м; с лежащего бока мощность зоны изменений прослежена на 9 м.

Для околожильной зоны южного фланга характерно развитие исключительно кварц-серицитового агрегата ("серицитолит"). Непосредственно на контакте жилы установлено незначительное развитие каолинита (Шатнов Ю.А. и др., 1988г.). В зоне "хрусталеносного узла" в серицитолите обычно присутствие каолининовой составляющей. При этом

максимальное развитие каолинита установлено непосредственно над "хрусталеносным узлом" (более 20%).

Четкой геохимической специализации околожильного пространства не проявляется. Намечается, на хрусталеносном интервале месторождения, снижение содержаний Mn и также Pb (в породах висячего бока жилы). Однако эти отрицательные аномалии проявляются лишь в контурах видимых зон изменений, не далее 7 м от контакта жильного тела.

Примерно таков же характер декрептометрических аномалий. На контакте кварцевой жилы, в зоне максимальных изменений, резко возрастает декрептоактивность породы в интервале 100-360°C (N_{360}), значение N_{360} здесь достигает 40% против 0-8% в фоновых пробах. Различий в значениях N_{360} из зон изменений по простиранию жилы не отмечено. Вкрест простирания жилы – декрептометрические аномалии устанавливаются лишь в пределах внутренних зон гидротермальных ореолов. Полуширина аномалии составляет не более половины аналогичной характеристики ореола видимых изменений.

Своеобразным показателем продуктивного интервала месторождения выступают наличие сопровождающего жилу мелкопрожильника. И для участка выклинивания жилы на восстании, и для ее висячего бока в зоне "хрусталеносного узла" характерно интенсивное развитие позднего кварца в виде сети мелкопрожильника и отдельных мелких тел (до 1 м в поперечнике и мощностью). На поверхности участок проявлен высыпками кварцевой щебенки на фоне переотложенных продуктов околожильных изменений.

В целом рассмотренные особенности околожильных ореолов обычны для объектов надырбайского типа, однако не носят абсолютного характера. В частности, на месторождении Серек, при развитии "хрусталеносного узла" в зоне тектонического сброса, отмечалась крайне ограниченная мощность околожильного ореола (не более 0,3 м) даже на аномально высоком уровне хрусталеносности. На месторождении Акшоки одна из жил (Северная), при интенсивных поздних изменениях, хрусталеносной минерализацией фактически не несет.

Практическая значимость месторождения Надырбай

Месторождение Надырбай является одним из немногих промышленно хрусталеносных объектов, открытых в результате целенаправленного поиска скрытой минерализации. № 5 как таковая известна с начала 50-х годов. Результаты разведочных работ 1954-1956 гг. определили отношение к ней как слабо хрусталеносному проявлению, с единичными малопродуктивными гнездами-занорышами, с непромышленным содержанием пьезокварца (2 г/м^3). Более поздние обобщения по хрусталеносности Улутауского района (Кацнельсон Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966 г.; Шатнов Ю.А., 1974 г.) показали первостепенное промышленное значение для жил надырбайского типа "хрусталеносных узлов" (разветвленные столбы), концентрирующих основные объемы пьезокварцевой минерализации. Это определило закономерность постановки в начале 70-х годов работ по переоценке подобных объектов, с акцентом на возможность выделения таких "узлов" по комплексу разведочных структурно-морфологических и вещественных признаков (Шатнов Ю.А., 1974 г.).

Разведочные работы 1976-1977 гг. и последующая эксплуатация, продолжающаяся и в настоящее время, определили значение месторождения как одного из основных промышленных объектов Улутауского района. По фактическим запасам горного хрусталя для плавки (табл. 6.5.) это среднее месторождение, обеспечивающее высокий уровень рентабельности работ даже на один этот вид сырья. С учетом попутно добываемого пьезокварца и жильного кварца для оптического стекловарения месторождение Надырбай является вторым (после Актауского) по значению комплексным кварценосным объектом района. Содержание основного полезного компонента (горного хрусталя для плавки) в

контурах выделившейся продуктивной зоны составило более 6 кг/м^3 . Это один из наиболее высоких показателей среди хрусталеносных месторождений.

Установленный выход плавочного сырья из кристаллов – 43 %, в т.ч. Пс – 62 %, Пс – 38 %. К сожалению, из-за повышенного содержания элементов – примесей (табл. 6.4.) и ГЖВ, выход сырья высоких сортов очень ограничен. Выход пьезокварца в целом невысок как и для большей части хрусталеносных объектов Улутауского района (всего – 0,1 %, в т.ч. высший – Пс – 30 %, Пс – 70 %). В то же время определенный дополнительный интерес на месторождении представляет коллекционный друзовый материал.

6.7. Месторождение Котр

Месторождение Котр относится к специфической группе объектов, представленных сериями продуктивных жил, рассредоточенных на значительной площади. По сути это жилые поля или участки из нескольких десятков – сотен объектов, из которых часть жил являются промышленно хрусталеносными образованиями, собственно и формирующими месторождение (Котр, Котр Северный, Бусторау I, Кыштау).

Непосредственно Котринское месторождение примыкает с севера к Актасскому полю. Его освоение начиналось в начале 50-х годов и продолжалось с различной интенсивностью до середины 70-х годов

Геолого-структурная характеристика

Месторождение Котр ("Котринское жилое поле") условно относится к Кыштау-Идыгейской хрусталеносной зоне. Оно приурочено (Шатнов Ю.А., 1974г.) к сопряжению восточной ветви Карсакпайского поднятия с Актасской грабен-синклиналью. На юге месторождение ограничивается широтным Котринским сбросом, на востоке – сочленяется со сходным построению Бусторауским жилым полем. Его общая площадь – около 12 км^2 (рис. 28.).

Месторождение сложено верхнедевонскими осадочными породами, переслаивающимися в различных соотношениях. К основным их разностям относятся песчаники, конгломераты, алевролиты с подчиненными порфиритами и туффитами.

Песчаники – преимущественно аркозового состава, от мелко-до грубозернистых, зеленовато-серые или лиловые. Обломочный материал



Рис. 28. Геологическая карта жилого поля Котр (по Я.Я. Каценбогену, 1962г.)

– слабо окатанный кварц, КЩЦ, плагиоклаз, слюды, а также обломки кварцитов, известняков и др. Цемент – мелкозернистый кварц, слюда, часто с хлоритом и карбонатом. Текстура – массивная или микросланцевая. Примеси – рудные минералы, апатит, сфен.

Алевриты – того же основного состава, с глинисто-кварц-серицитовым или кварц-серицит-хлоритовым цементом, слоистой или сланцеватой текстуры. Туфоалевриты насыщены обломочным материалом основных эффузивов и вулканического стекла. Отличаются развитием кремнисто-серицитового цемента.

Конгломераты – от мелко – до крупногалечных и валунных. Галька представлена гранодиоритами, реже – лейкогранитом, каледонским кварцем, кварцитами и др. Цемент – песчанниковый, иногда – туфовый. Базальные конгломераты – с очень слабой окатанностью материала (по сути – элювий-делювий исходных гранодиоритов).

Эффузивы представлены покровными плагиоклаз-пироксен-амфиболовыми порфиритами. Во вкрапленниках преобладают роговая обманка, моноклинный пироксен, плагиоклаз. Основная масса – раскристаллизованное вулканическое стекло, с микролитами плагиоклаза. Структура породы – ясная порфировая, основной массы – гиалопилитовая. Текстура полосчатая. Наряду с покровами образуют дайковые (экструзивные) тела протяженностью до 40 м при мощности до 1,5 м.

Соотношение перечисленных разностей пород в разрезе девонской толщи различно, что обуславливает возможность ее стратификации, с выделением ряда отдельных пачек (рис.28). В восточной части жильного поля девонские породы отдельными очагами выветрены, с мощностью зоны выветривания около 5 м. В понижениях коренные породы перекрыты толщей песчано-глинистых отложений аральской свиты (N_{1ar}).

Основной складчатой структурой, локализующей месторождение (жильное поле) является Котринская брахиантклинал IV порядка. Простирается её осевой зоны – около 20°. Структура неравномерно погружается к югу – юго-западу. Восточное крыло антиклинали более крутое, осложненное перегибами и складками более высокого порядка. Подобная структура характеризует погружение и западного крыла брахиантклинали. Отделяется от свода складки меридиональным асимметричным перегибом. В целом более осложнена северная площадь брахиантклинали (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.).

Разрывные дислокации на площади месторождения фиксируются зонами интенсивного расщепления, осветления (серицитизация + каолинизация), кварцевания, мелкопрожилником, экструзивными телами. Они сопровождаются также резкими изменениями ориентировки слоистости и сланцеватости пород. Выделяются субмеридиональные, северо-восточные и субширотные разрывы (рис. 2). Субмеридиональные нарушения (простираются 0-30°) имеют практически вертикальное залегание; проявлены в виде мощных зон дислокаций (до 160 м) с суммарными взбросовыми перемещениями в их плоскости до 70 м (зона на западе поля). Наиболее крупным северо-восточным нарушением является взбросо-сдвиг, трассирующийся долиной р. Актюбин. Его горизонтальная амплитуда – до 40-60 м, вертикальная – около 20 м. Падение крутое (70-80°), юго-восточное. Субширотные нарушения прослежены лишь в СВ части месторождения. Их ориентировка – с простираем 270-275°, падение – к С под углом 40-50°. По характеру смещений это сбросо-сдвиги, с погруженным северным крылом. Мощные зоны нарушений – до 12 м, вертикальная амплитуда смещений до 80 м.

Возраст нарушений определяется как герцинский, образование синскладчатости отражающее блоковые расколы в подстилающих гранитоидах и кристаллосланцах. Ряд нарушений проявилась в основном в качестве рудораспределяющих – рудоподводящих структур на этапе становления хрусталеносных кварцевых жил.

Кварцевые жилы месторождения

На площади Котринского жильного поля выявлено около 100 кварцевых жил (Салионов Е.В., Павлуцкая Н.П. и др., 1964г.). Концентрация жильных образований отмечается в замковой части Котринской брахиантиклинали и в осложняющих ее структурах. В морфоструктурном отношении кварцевые жилы относятся к следующим типам:

- 1) минерализованные трещины скалывания;
- 2) разрывные структуры перемещения;
- 3) трещины (полости) отслаивания;
- 4) сложные трещинные зоны.

Кварцевые жилы первого типа – крутопадающие, линейно-вытянутые, сравнительно маломощные тела и серии тел. Второй тип представлен мощными жилами, относительно крутопадающими, осложненными апофизами, раздувами и пережимами (типа жилы № 81). Третий тип представлен специфичными жильными зонами, образованными кварцевыми телами "типа Бендиго". Они сформировались в трещинах отслаивания локальных антиклинальных складок (рис. 29) и сопряженных с ними трещинах отрыва в виде серий сближенных линзовидных тел (многоярусные жильные зоны). Четвертый тип представлен мелкими штокверковыми зонами – уменьшенными подобиями Ацильсайского месторождения. Промышленно хрусталеносными являются жилы (зоны) третьего типа (80% продуктивных объектов) и частично – жилы второго типа.

Размеры эталонных для месторождения зон полностью определяются параметрами локализирующих складок V-VI порядка (таблица 6.5.). В плане обычная форма зон – эллипсовидная. Залегание отдельных тел в целом пологое, хотя в них отмечаются характерные коленообразные перегибы. Для некоторых зон обычны крутопадающие "стволовые" ветви (типа жилы № 48). Насыщенность зон кварцевыми жилами в разрезе – 30-40%.

В связи со спецификой локализации жильных тел в контурах зон обычны жилы скрытого залегания, частое склонение жил и зон в направлении погружения шарниров локализирующих складок (эталонный вариант – жила № 25). Простираение продуктивных зон и тел на основной площади месторождения субмеридиональное, субсогласное со складчатостью. В восточной и северной частях площади ряд жил (№№ 30, 81, 91, 94) имеет субширотную ориентировку. Жилы обычно локализируются в зоне контакта песчаников-алевролитов, реже – конгломератов и алевролитов или песчаников разной зернистости.

По вещественному составу кварцевые жилы Котринского месторождения являются мономинеральными образованиями, сформированными в две сопряженных стадии минерализации (Каценбоген Я.Я., Елкин В.П. и др., 1966г.; Шатнов Ю.А., 1974г.). В то же время для продуктивных тел характерно проявление в основном поздней, собственно хрусталеносной стадии. Исключение составляет лишь жила № 81, где ассоциации этой стадии проявлены лишь на одном (западном) фланге объекта.

Кварц продуктивных жил Котринского месторождения – серый, темно-серый дымчатый), крупно-гигантозернистый, массивной, шестоватой и друзовой текстуры. Текстура зональность кварца (массивный → шестоватый → друзовый кварц) проявляется не на всех продуктивных жилах. Кварц характеризуется слабой деформированностью зерен (показатель блокованности 1,6°, волнистость погасания — 4,0°/мм), хотя в отдельных образцах отмечается сетчатая текстура, с залеченными швами-трещинами. Прозрачность кварца повышена (светопропускание до 45% и более). По типу декрептограмм кварц приближается к горному хрусталу, с повышенным значением низкотемпературного (N₃₄₀) показателя интенсивности растрескивания. В качестве минералов-примесей (в количестве первых процентов, реже – до 10-15%) в кварце продуктивных жил присутствуют хлорит, гематит, эпидот (шестоватые разности), по трещинам и кавернам развиты серицит и

каолинит. В виде единичных находок отмечался кварц с турмалином, молибденит, хризотил-асбестом.

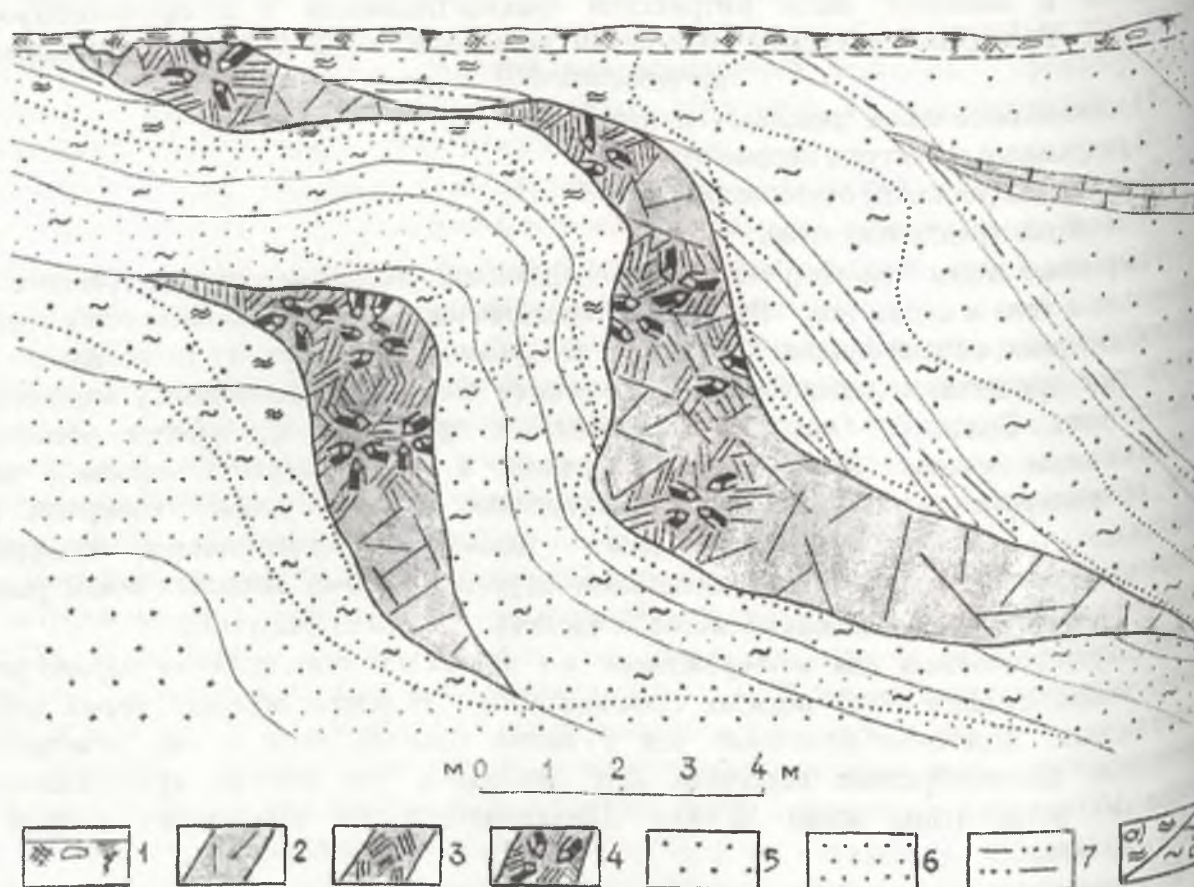


Рис. 29. Месторождение Котр. Поперечный разрез жильной зоны № 25.
(по Ю.А.Шатнову, 1964г.)

1 – почвенно-растительный слой. 2 – кварц жильной, массивной текстуры, 3 – кварц жильной шестоватой текстуры. 4 – хрусталеносные полости. 5 – песчаники грубозернистые. 6 – песчаники мелкозернистые. 7 – алевриты красноватые. 8 – околожильные изменения: а – интенсивные, б – слабо выраженные.

Особенности хрусталеносности

Развитие хрусталеносной минерализации на площади месторождения неравномерно. Из ~ 100 кварцевых жил к продуктивным объектам (с ресурсами горного хрусталя в десятки тонн) относится лишь 16 жильных образований. Практически все они залегают в Котринской брахиантиклинали и ее осложнениях. Горный хрусталь локализуется в ограниченных полостях вытянутой или субизометричной формы, размерами до 3-5 м по наибольшему измерению; обычно не более 1 м по "мощности". Кристаллы горного хрусталя в полостях или оторваны от субстрата, или образуют на стенках друзовые агрегаты. Постепенными переходами в шестоватый – массивный "поздний" кварц. Соотношение объемов жильного кварца и хрусталеносных полостей невыдержанное, чаще порядка 1:1. Отдельные жилы почти нацело (до 90%) слагаются хрусталеносной породой (тип "минерализованные трещины").

Масса гнездового выполнения представлена вязкой зеленовато-серой или охристой глиной; основной состав – серицит + гидрослюда + каолинит; реже – существенно серицитовой породой. Для некоторых жил (№ 47, № 50) характерно полостное заполнение

шестоватого желтовато-зеленого эпидота, изредка – чешуйчатого хлорита.

Кристаллы горного хрусталя в типичном случае – коротко-среднепризматические, густой дымчатой окраски, сдвойникованные по обоим основным законам, трещиноватые; в основной массе поражены ГЖВ. Твердые включения (серицит, хлорит, гематит, породный субстрат) в целом не характерны. Исключение составляют объекты с эпидотом в массе гнездового выполнения, где им поражается до 30% кристаллосырья. Размеры кристаллов горного хрусталя – обычно не более 20-30 см по L_3 ; сохранность сырья хорошая. Выход пьезокварца из кристаллосырья крайне низок (сотые доли %), притом низких сортов; плавочного сырья – порядка 25%, также невысокой сортности (табл. 6.3.).

В контурах жильных тел хрусталеносные полости связаны, как правило, с их раздувами ("морфологические рудные столбы"), хотя столь четких "хрусталеносных узлов" как на месторождениях типа Актас или Надырбай здесь не образуется (рис. 29). Хрусталеносные полости локализуются также на участках сопряжения тел и прожилков в зонах более сложного строения. При максимальной изменчивости формы жильных тел в поперечном сечении, возможно скрытое залегание наиболее обогащенных участков.

Различия вещественного состава безрудных и промышленно-хрусталеносных жильных образований – обычные для кварцевых жил ранней и поздней (хрусталеносной) стадий минерализации (табл. 6.2.). Слабохрусталеносные жилы характеризуются переходными параметрами жильной породы.

Околожильные изменения вмещающих пород

Гидротермально-метасоматические изменения вмещающих пород на Котринском месторождении проявились вдоль зон тектонических нарушений (прослежены до глубины 60-70 м) и около хрусталеносных объектов. Изменения выражены развитием кварц-мусковитового (серицитового) агрегата, с частичной примесью альбита и каолинита, при ограниченной окристаллизованности всех минералов. В отдельных случаях развиваются новообразованный хлорит и эпидот. Мусковитизация (серицитизация) пород охватывает всю мощность хрусталеносных зон, хотя максимально изменения проявляются в альбандах жильных тел (рис. 29.). В сечении ореолы выходят на 2-5 м за контуры этих зон; визуально проявляются достаточно контрастным осветлением пород.

Измененные породы отличаются повышенной декрептоактивностью в низкотемпературном интервале (100-340°C) по сравнению с фоном – исходными веществами жаксыгонской серии. Зона повышенных значений N_{340} не выходит за контуры видимого осветления пород.

Геохимическая специализация околожильного пространства проявляется слабо. Из 38 изученных элементов (Шатнов Ю.А. и др., 1988г.) слабые индикаторные свойства проявляют лишь Na и Li (увеличение C_{Na} и снижение C_{Li}). Границы намечающихся слабоконтрастных аномалий практически совпадают с границами интенсивной серицитизации пород.

Существенных различий в характере околожильных изменений продуктивных и слабохрусталеносных жил и зон не проявляется. Намечается лишь тенденция к снижению интенсивности серицитизации и сокращению мощности ореолов (до 1,0-1,5 м) слабопродуктивных жил.

Практическая оценка Котринского месторождения

По масштабам развития хрусталеносной минерализации месторождение Котринского относится к средним промышленным объектам с четко выраженной плавочной специализацией. При весьма ограниченных ресурсах пьезокварца оно в течение достаточно длительного времени (более 20 лет) служило стабильным источником горного хрусталя для

плавки. Его успешной эксплуатации способствовал целый ряд благоприятных факторов, именно:

- практически полная обнаженность площади в условиях выровненного рельефа, оптимального для ведения механизированной отработки;
- достаточно высокая концентрация полезного компонента, обеспечивающая рентабельность эксплуатационных работ (табл. 6.5.);
- относительная легкость выделения продуктивных жильных образований, минимизацией затрат на поисково-оценочные работы,
- возможность отработки продуктивных пород без существенных затрат на вскрышные и горно-подготовительные выработки;
- отсутствие обводненности до глубины рациональной отработки большинства жил (10-15 м);
- удобство расположения месторождения по отношению к перерабатывающему предприятию (пос. Актас с цехом обогащения находится в 5-8 км от месторождения), обусловившее возможность круглогодичной его эксплуатации.

В силу перечисленных обстоятельств к середине 70-х годов почти все продуктивные жилы месторождения были отработаны (табл. 6.5.). Поиски объектов скрытого залегания, к сожалению, не привели к открытию новых продуктивных жил в благоприятном для отработки глубинном интервале (до 20 м). Выход же на более глубоко залегающие зоны при низком качестве сырья экономически себя не оправдывает. Тем более, что низкое качество горного хрусталя обусловлено не его минералогическими особенностями, а в первую очередь - повышенной зараженностью Al и щелочами (Na , K). Их развитие обусловлено использованием горного хрусталя (обычно – густой дымчатой окраски) в основном рядового сырья для плавки (III с).

7. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ ПАЛЕОЗОЙСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

7.1. Южно-Уральская субпровинция

Южно-Уральская хрусталеносная субпровинция включает в себя территорию Южного-Среднего Урала от широты г. Н.Тагил до широты г. Орска, общей площадью около 300 км². Это один из наиболее освоенных и геологически изученных хрусталеносных районов России, являющийся основной базой природного пьезооптического кварца страны.

В геологическом отношении субпровинция приурочена к восточной — геосинклинальной области Уральской геосинклинальной структуры (Ануфриев Ю.Н., Билова Г.И. и др., 1975г.). В широтном разрезе Урала выделяются Центрально-Уральское поднятие, Тагило-Магнитогорский прогиб, Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральский прогиб и Зауральское поднятие. Субпровинция локализована в границах Восточно-Уральского поднятия и лишь частично заходит в краевые зоны сопряженных прогибов, фиксирующиеся региональными разломными структурами (рис. 30). Поднятие в свою очередь разделяется (по И.Д. Соболеву) на ряд структур второго порядка — Верхотурский, Сысертско-Ильменогорский, Сосьвинско-Коневский и Челябинско-Сундукский мегантиклинории, разделяющиеся Медведевско-Свердловским и Арамилско-Хтелинским мегасинклинориями. Эти крупные структуры по простиранию осложняются рядами антиклинорий и синклинорий (структуры III порядка), из которых наиболее важную роль в отношении хрусталеносной минерализации играют (с севера на юг) антиклинорные образования — Салдинско-Петрокаменский, Верх-Исетский, Варламовский, Джабык-Трагайский, Суундукский и Адамовский антиклинории.

Геоантиклинальные поднятия (в том числе и Восточно-Уральское) являются зонами альпийского складчатости, с купольным характером осложняющих их структур (гранитоидные купольные структуры различного порядка). Мегантиклинории большей частью сложены метаморфизованными осадочными и вулканогенными породами различного возраста (от ордовика до нижнего карбона). Последние (по И.И. Горскому и И.Д. Соболеву) формировались в один ордовикско-позднепалеозойский цикл развития геосинклинальной области, отвечающий единому структурному этапу. Внутри цикла выделен ряд этапов — ордовикско-раннедевонский, среднедевонско-раннетурнейский, раннекаменноугольный и позднепалеозойский, соответствующих определенным структурным ярусам.

Более древние комплексы (яруса) составляют как правило ядра купольных структур, с более высоким уровнем динамотермального метаморфизма (в целом отвечает граноболитовой фации). В сланцевом обрамлении купольных структур (антиклинорий) фиксируется быстрый спад уровня метаморфизма до фации зеленых сланцев, хотя смена фаций не всегда имеет однозначную направленность. В комплексах зеленосланцевых пород фрагментарно могут проявляться участки с более высоким уровнем метаморфизма, развитие которых обусловлено или спецификой литологического состава, или особенностями формирования купольных форм.

С крупными разрывными структурами (и в связи с альпийской складчатостью) сопряжены интрузивные образования. Разломные зоны контролируют размещение многочисленных перидотитовых массивов, сложенных в основном гарцбургитами и, в большей мере, дунитами. С разломами в границах поднятий связаны также гранитоиды, в основном тоналит-гранодиоритового ряда, фиксирующие переходную и континентальную стадии развития геосинклинали (каменноугольный период). Наиболее поздними являются щелочные граниты и адамеллиты (верхний палеозой), связанные с проявлением альпийской складчатости в ядрах антиклинорий. Крупные массивы этих автохтонных гранитов развиты в большинстве гранитоидных куполов Восточно-Уральского поднятия.

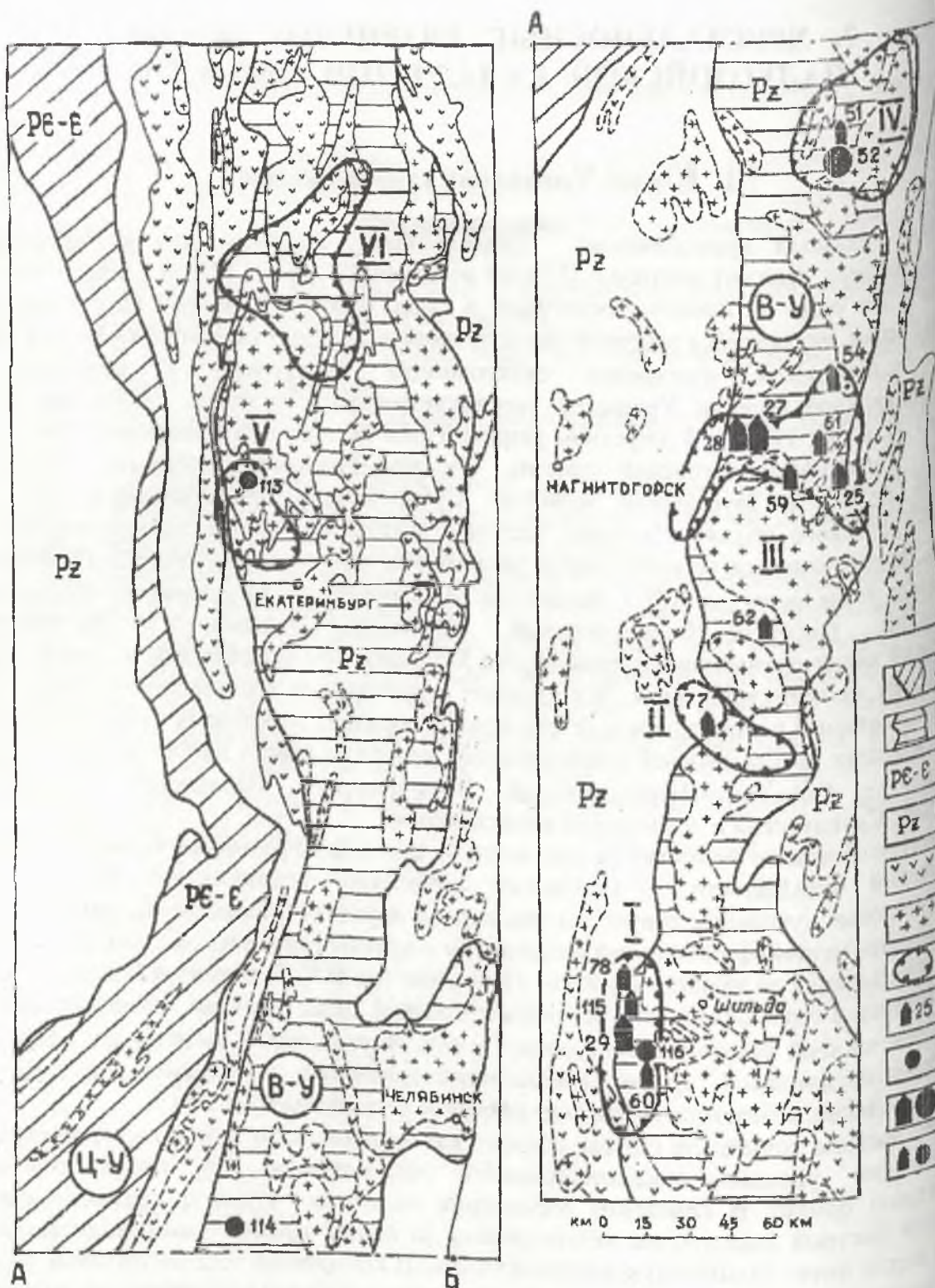


Рис. 30. Схема хрусталености Южно-Уральской субпровинции (по Ю.Н. Ануфриеву, 1975г.)

1 – Центрально-Уральское поднятие. 2 – Восточно-Уральское поднятие. Осадочно-метаморфические комплексы: 3 – докембрийский-кембрийский; 4 – палеозойский, Интрузивные комплексы. 5 – габбро-диоритовые; 6 – гранитоидной формации. 7 – основные хрусталеносные узлы. 8 – с преобладающей минерализацией. 9 – россыльного типа, 10 – крупные, 11 – средние-мелкие. Перечень хрусталеносных месторождений (нумерация по схеме Ануфриева Ю.Н., 1975г.): 8 – с преобладающей минерализацией. I – Адамовский (Теренсайский); II – Полоцкий (Суундукский); III – Астафьевский (Джабык-Карай); IV – Светлинско-Варламовский; V – Верх-Исетский; VI – Салдинский. Перечень месторождений: 25 – Московское (Новый мир); 27 – Астафьевское; 28 – Западное; 29 – Джаман-Акжар; 51 – Михайловское; 52 – Светлинское; 54 – Калиновское; 59 – Татищевское; 60 – Мироновское; 61 – Порт-Артурское; 62 – Акмуллинское; 77 – Новинское; 78 – Коскульское; 113 – Ново-Алексеевское; 114 – Фамбуловское; 115 – Нурбайское, 116 – Речное

В границах Южно-Уральской субпровинции известно более 180 участков с проявлениями хрусталеносной кварцево-жильной формации. В их число входит 15 месторождений, на которых выделены блоки с разными по масштабам запасами пьезосырья (рис. 30.). Из них четыре относятся к крупным месторождениям – Астафьевское, Западное, Джаман-Акжар и Светлинское; два к средним – Мироновское и Речное; девять к мелким – Ново-Алексеевское, Михайловское, Порт-Артурское, Московское, Фамбуловское, Акмуллинское, Новинское (Бутак), Коскульское и Нурбайское. Остальные объекты относятся к разряду хрусталепроявлений, хотя некоторые из них являются достаточно перспективными на пьезосырье и содержат прогнозные ресурсы высоких категорий (поля Полоцкого узла).

Размещение месторождений и проявлений горного хрусталя в пределах провинции неравномерно. Выделяются (с севера на юг) шесть основных хрусталеносных узлов – Салдинский, Верх-Исетский, Светлинско-Варламовский, Астафьевский, Полоцкий (Суундукский) и Теренсайский (Адамовский). Все узлы локализованы в краевых зонах антиклинорий – куполов, определивших в большинстве случаев и само наименование этих объектов.

В пределах узлов хрусталеносные образования размещаются в различных комплексах пород, в различных структурно-тектонических условиях, имеют разную морфологию, масштабы и т.д. Определяющим фактором, по Ю.Н. Ануфриеву, является литологический, обуславливающий и особенности месторождений, и характер содержащегося в них сырья. По этому основному признаку выделено пять хрусталеносных субформаций Южного Урала. К ним относятся:

- первая субформация – с хрусталепроявлениями и месторождениями в метаморфизованных вулканогенных (вулканогенно-осадочных) породах;
- вторая субформация – с проявлениями в кристаллических сланцах;
- третья субформация – с хрусталесодержащими объектами в слабометаморфизованных осадочных породах;
- четвертая субформация – с проявлениями горного хрусталя в кварцитовидных породах;
- пятая субформация – с проявлениями в гранитоидных породах.

Из этих формационных подразделений только первая и частично – вторая могут быть отнесены к разряду промышленно-хрусталеносных субформаций. В первую входят – Астафьевское, Западное, Джаман-Акжарское, Ново-Алексеевское и Московское (Новомирское) месторождения, во вторую – месторождения Мироновское, Михайловское, Калиновское, Порт-Артур, Акмулла. Из других групп месторождения горного хрусталя (мелкие, с забалансовыми запасами) содержит только третья субформация (Коскульское и Новинское).

Типовыми объектами первой субформации являются месторождения Астафьевское и Джаман-Акжар, на примере которых могут быть детально рассмотрены главные особенности хрусталеносных образований Южного Урала.

7.1.1. Астафьевское месторождение

Астафьевское месторождение пьезооптического кварца, являющееся наиболее крупным промышленным объектом страны, расположено в 75 км к востоку от города Магнитогорска.

Месторождение выявлено (по выходам делювиально-элювиальных развалов горного хрусталя) в 1946г. в процессе специализированных поисковых работ Ю.Н. Ануфриевым и

К.Ф. Кашкуровым. До 1995 года на месторождении проводились совмещенные во времени поисково-оценочные, разведочные и эксплуатационные работы, с использованием практически всех видов разведочной и поисковой технологий (бурение, проходка траншей, шурфов с рассечками, шахтных стволов, штолен из уступов добычного карьера). Обработка велась системой карьеров до глубины 110-140 м; в настоящее время карьеры затоплены ("мокрая консервация"). Генеральный подсчет запасов (с утверждением ГКЗ) завершен в 1964г. (Ануфриев Ю.Н. и др., 1964г.); пересчет запасов по всему месторождению (включая месторождение Западное) выполнен в 1983г. (Хохлачев А.П., Кухарь Н.С., 1983г.). Их корректировка, по мере доизучения отдельных зон, продолжалась до 1993г.

Как основной промышленный источник природного пьезокварца Астафьевское месторождение явилось своеобразным эталоном для изучения минералогии кварцевого хрусталя, для разработки и апробации методических подходов к пьезокварцевым объектам. Наиболее важный вклад в его изучение внесли первооткрыватели (в частности Ануфриев, отдавший проблеме изучения и освоения месторождения более 30 лет), геологи-практики и ученые, в том числе Г.В. Меркулова, В.Г. Ушаковский, А.В. Н.В. Курчаткин, А.А. Евстропов, Т.Л. Нейкур, Н.И. Стариков, Н.С. Кухарь, Ю.И. Небольсин, В.М. Сухоруков, А.П. Хохлачев, В.А. Агеев, Г.И. Крылова, В.Ю. Эшкин, Т.А. Карякин, Огородников, Ю.А. Шатнов и др. Большой практический вклад в освоение месторождения сделали руководители Южного рудника, функционирующего на его базе – П.В. Добровольский, Б.Г. Ромащенко, Ю.П. Батраев и др. В результате более чем полувековых исследований геология месторождения изучена во многих ее аспектах, хотя по ряду вопросов однозначных выводов так и не получено.

Геолого-структурное положение

Астафьевское месторождение в совокупности с Западным и Аномальным месторождениями составляет единое Астафьевское хрусталеносное поле (Ануфриев Ю.Н., Крылова Г.И., 1978г.). Последнее в виде асимметричной подковы, с более вытянутым восточным сегментом, протягивается по широте до 3 км и по долготе (по восточному флангу) более 2.5 км, при поперечном размахе от 300 до 600 м. Оно приурочено к краевой части Восточно-Уральского поднятия, к зоне перехода Джабык-Карагайского антиклиналя в расположенный севернее Куликовский синклинирий, являясь частью Астафьевского хрусталеносного узла. Узел в целом концентрирует около 25 хрусталепроявлений, в числе мелкие месторождения Новый Мир, Порт-Артур, Калиновское), сосредоточенные в зоне северного погружения антиклинория, однако промышленная минерализация проявляется только в контурах Астафьевского поля. Для него характерно расположение вне зоны влияния меридионального глубинного разлома (ограничивающего антиклинорий с запада) поле слабо напряженной складчатости и умеренного проявления позднепалеозойского регионального метаморфизма (зеленосланцевая фация). Важнейшим фактором, определившим структуру поля, является участие в его строении двух разнотипных комплексов пород. Один комплекс, являющийся непосредственно рудовмещающим, представлен толщей метавулканитов, включающих первично эффузивные, вулканогенно-осадочные (туфопесчаники, туфоалевролиты, туфоглины) и субвулканические образования, в различных соотношениях наблюдаемые на различных участках. Эти породы в той или иной степени рассланцованы (до гнейсовидности), преобладающим уровнем метаморфизма эпидот-амфиболитовой – зеленосланцевой фации.

Породы второго комплекса, перекрывающие толщу метавулканитов, представлены в основном углистыми филлитами и сланцами, среди которых отмечаются прослои карбонатных разностей, а также мраморизованных известняков. К северу от месторождения толща углистых филлитов сменяется более пестрым комплексом зеленосланцевых пород.

По выходу на дневную поверхность метавулканыты образуют четыре автономных выступа среди филлитового субстрата, выделяемых как Западный, Центральный, Восточный и Аномальный блоки (рис. 31.). Эти блоки разделяются (опять же в приповерхностном интервале) поперечными синклинальными структурами, выполненными углистыми

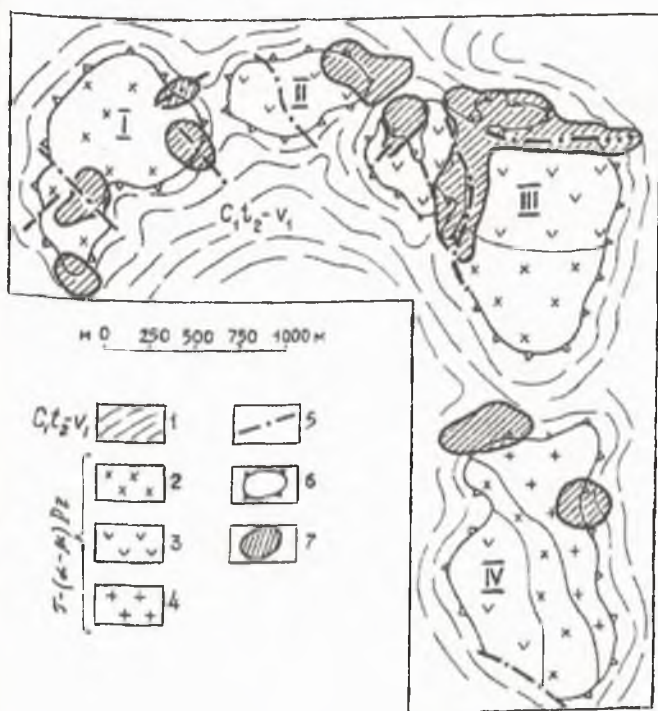


Рис. 31. Карта Астафьевского поля

(по Н.С. Кухарю, 1978г., Ю.А. Шатнову, 1982 г.)

1 - углистые сланцы, филлиты и др. 2-4 - породы нижнего «структурного яруса»: 2 - типичные метавулканыты: туфиты, туфопесчаники и др.; 3 - массивные (диоритовые) метавулканыты; 4 - интенсивно фельдшпатизированные породы. 5 - разрывные нарушения. 6 - граница «выступов» метавулканытов 7 - кварцевожильные зоны (горизонтальные проекции)

Блоки метавулканытов: I - Западный, II - Центральный, III - Восточный (Главный), IV - Аномальный

породами и имеющими почти правильную параболическую форму (в разрезе). На глубине 50-100м разрозненные блоки метавулканытов сливаются в единую валообразную структуру той же подковообразной формы, полого погружающуюся в северном направлении. Отдельные участки этого "вала" рассекаются малоамплитудными (со смещениями до 40 м) поперечными разломами, с проявленными взбросовыми и раздвиговыми элементами.

При рассмотренной необычности структуры Астафьевского поля большинством исследователей признается его образование как своеобразного блокового сооружения. Метавулканыты рассматриваются как частично оторванный фрагмент ордовикско-силурийского основания структуры, переместившийся в процессе формирования Джабык-Карагайского антиклинория в направлении свода "текучей" массой нижнекаменноугольных пластичных филлитов, и расчлененный разломными структурами.

По мнению же автора настоящей работы (вслед за А.П. Хохлачевым)

обращают на себя внимание следующие элементы строения и позиции поля:

1. для всего блока метавулканытов характерна слабо нарушенная в разрезе форма, по восстанию и простираанию (если исключить изогнутость) приближающаяся к форме уплощенной линзы;
2. углистые филлиты не только перекрывают, но и подстилают (по данным глубокого бурения начала 80-х годов) блок вулканогенных образований;
3. уровень метаморфизма обоих комплексов достаточно близок; участки развития гнейсовидных пород (с метаморфизмом эпидот-амфиболитовой фации) представляют лишь локальные частные отклонения от общего фона;
4. элементы ориентировки реликтовой слоистости и сланцеватости метавулканытов практически повторяют ориентировку аналогичных параметров углисто-филлитовой толщи (общее субсогласное залегание тех и других);
5. осевая зона подковообразной структуры, образуемой метавулканытами, почти полностью совпадает с осью антиклинального осложнения Джабык-Карагайского купола, локализирующего Астафьевское поле.

Перечисленные моменты делают более обоснованным подход к строению Астафьевского поля с иных, по сравнению с общепринятыми, позиций. Строение жильцовместающих метавулканитов без неоправданных натяжек четко вписывается в представление об этой структуре как о первичной линзе вулканогенно-осадочных пород, синхронных с вмещающей филлитовой толщей ($C_{1t2}-V_1$). В силу своего положения в антиклинальном осложнении Джабык-Карагайского купола, при формировании последней линза приобрела закономерную для данного случая подковообразную форму, повторяющую общий план осложняющей антиклинальной структуры. В процессе ее смятия, при контрастных механических свойствах метавулканитов (жесткий компонент толщ жильцовместающих углистых филлитов (пластичный и даже "текущий" компонент), линза испытала дополнительные, по отношению к общему изгибу, деформации своеобразного будинажирования. И образовавшиеся выступы жестких пород (с округлыми очертаниями сопоставимых размеров, вытянутые в целом вдоль оси первичной линзы) являются типичным примером (по Г.В. Тохтуеву, 1972г.) будинажа – структур макроуровня. Разделяющие эти выступы параболические синклинали, сочетающиеся в ряде случаев с осложняющими на глубине раздвиговыми деформациями, по своей природе не что иное, как формирующиеся при будинаж-процессах складки нагнетания (разного уровня завершенности).

В условиях проявления альпинотипной складчатости, определившей становление большинства купольных структур Урала (в т.ч. Джабык-Карагайского антиклинального купола), развитие подобных процессов более чем закономерно (по В.В. Белоусову). Эта складчатость обусловлена влиянием на первичные горные породы тепло-и массопотока из подкоровых глубин, тепловым расширением и уменьшением их плотности, в связи с чем происходит гравитационный подъем пород, с преобладающими вертикальными напряжениями. При этом для пластичных толщ характерно интенсивное послойное, по сути – объемное перемещение масс, что и определяет неизбежность развития будинажных структур различных масштабов. С "...формированием, в конечном счете четковидных... форм в деформированном массиве с обтеканием, обволакиванием их пластичными породами" (по Г.В. Тохтуеву, 1972г.).

В целом (по В.М. Крейтеру) Астафьевское поле может рассматриваться как комбинированная рудоносная структура, приуроченная к благоприятному пласту в осложняющей антиклинальной складке, локализованной в зоне погружения антиклинального купола.

Собственно Астафьевское месторождение приурочено к одному из выходов (бедных) метавулканитов, именуемому Восточным или Главным, и участку его сопряженного, расположенным западнее Центральным выступом поля. В более поздние периоды (середины 80-х годов) под этим наименованием подразумевается комплекс жильных месторождений собственно Астафьевского, и Западного месторождений (Кухарь Н.С., Хохлачев А.П., 1980г.). По нашему мнению, это не совсем верно и из-за пространственной разобщенности объектов, и из-за некоторых различий в характере минерализации. В данном случае рассматривается месторождение в первоначальной его идентификации.

Геологическое строение месторождения

Для собственно Астафьевского месторождения, локализующегося в северной части Восточного выступа, характерна наибольшая сложность состава жильцовместающих вулканитов (Крылова Г.И., 1983г.). Именно в его границах проявляются все четыре разности последних, характеризующиеся достаточно сложными фациальными переходами. В данном случае намечается определенная зональность в положении первично эффузивных, вулканокластических, вулканогенно-осадочных и субвулканических образований. Полосчатость (считая и сланцеватость, и первичную слоистость) разности разреза наиболее характерна для восточного фланга – северного погружения Восточного выступа. В юго-западной части (основание намечающейся линзы) преобладают массивные туфо-эффузивные породы.

восточном фрагменте выступа – метавулканы гнейсовидного облика и их диоритовидные разности (рис. 32.).

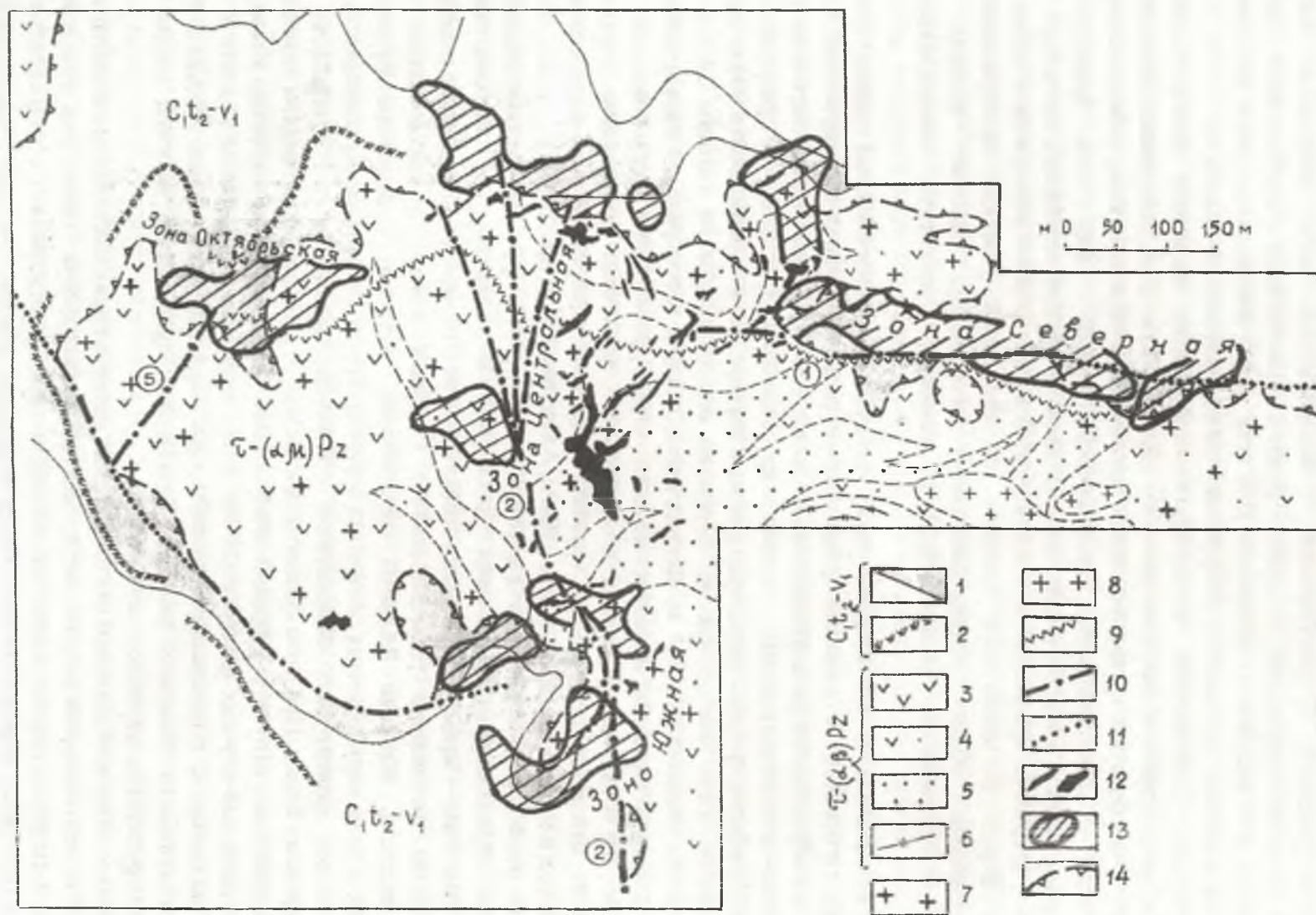
Для всех типов пород характерна натриевая специализация, средний-основной состав (породы андезито-базальтовой группы порфириновой формации), хотя и с повышенным содержанием K и SiO_2 . Конкретно это катаклазиты плагиоклаз-пироксеновых порфиритов; кварц-плагиоклазовые, андезитовые и диабазовые порфириты и производные от них туфогенные разности, в том числе туфолесчаники и туфоалевролиты. К субвулканическим породам могут быть отнесены диорит-порфириты и долерит-порфириты, а также некоторые диоритовидные разности. В центральной – юго-восточной части Восточного блока отмечаются разности, переходные к плагиогнейсам с полосчатыми обособлениями кварц-плагиоклазового или кварцевого материала. Для всех пород метавулканического комплекса характерна повышенная натровость с коэффициентом натриевости не ниже 0,92.

Характерным компонентом метавулканической толщи являются плагиограниты, относимые к интрузивным и метасоматическим образованиям, парагенетически связанным между собой. Они образуют преимущественно мелкие дайкообразные тела, субсогласные с полосчатостью – сланцеватостью вмещающей толщи. Реже они формируют субизометричные тела с неясными границами (в десятки метров сечением), состоящие из плагиоклаза и кварца (с преобладанием плагиоклаза) и содержащие ксенолиты и реликты вмещающих пород. В целом они придают, на отдельных участках месторождения, мигматитоподобный облик метавулканическому комплексу. Данные породы, с коэффициентом натриевости порядка 8,2 ед., усиливают натриевую специализацию субстрата.

Резко контрастны к плагиогранитовому комплексу лампрофировые дайки (типа керсантитов), тяготеющие к пологим субширотным разрывам южного погружения. Они пересекают все образования метавулканических блоков, а сами в свою очередь пересекаются гидротермально-метасоматическими зонами хрусталеносного этапа и разрывными структурами. Наиболее крупная дайка прослежена в карьере на расстоянии более 900 м через всю центральную часть месторождения; бурением она подсечена на глубине 140 м от поверхности, при мощности 0,1–0,7 м. Данная дайка явилась своеобразным маркирующим элементом для характеристик наиболее поздних структурных форм месторождения. В частности, по изучению ее залегания с предельной четкостью прослежены характер смещений и их амплитуда по наиболее крупной и мощной поперечной зоне нарушения в центральной части месторождения (Шатнов Ю.А., Ахметова Г.Л. и др., 1980г.).

Породы перекрывающей толщи ("верхний структурный ярус" по установившейся терминологии) представлены углистыми филлитами и сланцами, их карбонатными разностями, частично – мраморизованными известняками. Это черные монотонные породы, большей частью интенсивно рассланцованные ("кливаж течения"), образованные по пелитовым осадкам. Местами филлиты обесцвечены, содержат кремнистые прослои, выступающие в роли маркирующих элементов верхнего яруса. По залеганию сланцеватости и этих прослоев фиксируется облекающее положение филлитов, по отношению к метавулканическому блоку. При этом филлиты выполняют и складки нагнетания, и зияющие "полости" раздвиговых структур, с проявлением и здесь субпараллельного стенкам кливажа течения. В отдельных случаях филлитовый материал выполняет трещинные полости и за контурами раздвигов, с образованием своеобразных жилородных форм. Видимо, это результат интенсивного "бокового распора" пластичной, практически текучей, массы на относительно хрупкую метавулканическую толщу.

С поверхности на всей площади месторождения развита кора выветривания мощностью до 30–40 м. В ее вертикальном разрезе сверху вниз выделяются зона химических изменений (каолиновые и гидрослюдистые новообразования) и зона дезинтеграции, с относительной сохранностью исходных пород. При этом более изменены породы "верхнего структурного



Верхний структурный ярус.

1 – углистые сланцы и филлиты, в т.ч. осветленные. 2 – железисто-кремнистые пропластки.

Нижний структурный ярус.

3 – массивные метавулканы. 4 – полосчатые метатUFFиты. 5 – метатUFFо-песчаники с реликтами слоистости.

6 – гнейсифицированные породы. 7 – зоны развития кварц-плагиоклазовых метасоматитов (>25% объема).

8 – тела плагиогранитов. 9 – дайка керсантита.

10 – разрывные нарушения (№№ по тексту).

11 – участки затухания разрывов. 12 – хрусталеносные кварцевые жилы по выходу на поверхность.

13 – кварцево-жильные зоны (в горизонтальной проекции).

14 – граница раздела структурных ярусов.

Рис. 32. Схематическая геолого-структурная карта Астафьевского месторождения (по Ю.А. Шатнову, 1982г.)

яруса", с полным выносом углистого компонента.

Своеобразным ингредиентом коры выветривания выступают зоны развития тонкозернистого кварцевого материала ("маршаллита"). Наиболее интенсивное их развитие отмечается вдоль зон разрывных нарушений (включая межформационные срывы). Мощные зоны нарушений содержат обломки кремнистых пород, и в основании профиля коры выветривания включают участки сплошного окремнения ("полосчатые кварциты"), по которым и развиваются "маршаллиты". Образование их возможно за счёт выноса SiO_2 в перекрывающую толщу в ходе гидротермального процесса.

В структурном отношении Восточный блок метавулканитов, к которому приурочено собственно Астафьевское месторождение, достаточно четко обособлен. Его размеры по выходу на дневную поверхность составляют около 1,5 км по широте и до 1,4 км по длине (вдоль восточного фланга). При этом хрусталеносная минерализация закономерно приурочена к северной "половине" блока (висячему, наиболее подверженному деформации боку первичной линзы метавулканитов). С запада блок ограничен поперечной седловинной складкой, почти правильной параболической формы, отделяющей его от Центрального выступа. С юга подобной же, но осложненной на глубине структурой, он отделяется от Аномального блока.

Строение самого Восточного блока осложняется более мелкими структурными формами. Наряду с ограничивающими складками на его своде развиты более мелкие синклинальные формы, проявленные в виде резких заглаблений углистых пород в метатифитах, ориентированных продольно или радиально по отношению к своду. Строение этих складок в плане – невыдержанное, с горизонтальной ундуляцией шарниров, при сравнительно быстром их затухании к С и В. Поперечное сечение этих структур – "гиперболического типа" (по М.С. Гзовскому), реже – коробчатых очертаний. Сжатость сечения складок резко различна, с изменением величины эксцентриситета описывающей гиперболы от 2.25 до 1.05 ед.

Характер разрывных дислокаций в границах месторождения довольно разнообразен. Выделяется четыре основных разрывных системы (№№ 1, 2, 5 и 7), поперечной или продольной (как и осложняющие пликативные структуры) ориентировки. Общий характер локализации разрывов – типичный для нарушений синскладчатого заложения, с приуроченностью к крыльям и осевым зонам сопряженных с ними синклинальных форм (рис. 33), но с развитием лишь в породах «нижнего яруса».

Нарушение № 1 может быть отнесено к типичным раздвигам, с минимальными перемещениями в его плоскости и поперечным зиянием от 1 до 5 м, с быстрым затуханием на глубине (первые десятки метров от границы раздела "ярусов"). Выполнение – перемятый – маршаллитизированный материал углистой толщи, с проявленным "кливажем течения", параллельным стенкам раздвига. Структура № 7 (юго-западный разрыв) относится к типичным приконтактовым срывам, повторяющим общие контуры метавулканитового блока. В приповерхностной части – имеет крутое падение к ЮЗ, на глубине – падение сменяется на СВ. Признаки перемещения (скорее – течения) устанавливаются только для пластичных филлитов. Зона № 2 образована системой субпараллельных крутопадающих разрывов, мощностью до 20-30 м, пересекающей с ЮЮВ на ССЗ всю центральную часть месторождения. В сводовом интервале она проявлена мощной зоной брекчирования, с намечающимися взбросовыми смещениями. На южном фланге – переходит в мощную раздвиговую структуру (с зиянием до 10 м и более), сочленяющуюся вверх по разрезу с характерной складкой "нагнетания". К северу наблюдается ее расчленение по типу "конского хвоста" и постепенное затухание. По строению зона близка к шарнирным образованиям, с крутым падением к З в средней части месторождения и к В – у его южного фланга. Максимальная амплитуда вертикальных перемещений (в сводовой части), установленная по смещению маркирующей дайки, составляет 40-45 м. Система разрывов № 5 (5а-5в)

включает в себя серию сопряженных в разрезе (угол сопряжения около 30°) субпараллельных в плане нарушений сравнительно пологого залегания, локализирующих толще метавулканитов. Перемещения по разрывам – сбросовые для нарушений СЗ падения (зона № 5а), взбросовые – для зоны ЮВ падения (№ 5в).

Структурные особенности месторождения с максимальной убедительностью подтверждают изложенную схему становления жильного поля. При резкой гетерогенности разреза (жесткие, механически неоднородные метавулканиты и высоко пластичные углистые сланцы) в условиях преобладающих вертикальных напряжений сложившиеся условия являлись идеальными для развития приконтактовых будинаж-процессов.

Структурные условия локализации кварцевых жил

Основные позиции хрусталеносных кварцевых жил месторождения определяются следующими элементами (по Ю.Н. Ануфриеву): 1) связью продуктивной минерализации с сводом Восточного выступа и участком его пологого северного погружения; 2) тенденцией хрусталеносных жил к локализации в зоне контакта "структурных ярусов" (вернее литологических блоков), при развитии минерализации исключительно в "нижнем ярусе"; исключение составляют лишь наиболее деформированные сводовые участки месторождения, где намечаются обособленные жильные системы вне видимой связи с контактовой зоной; 3) большая часть жил (90%) приурочена к участкам развития кварц-плагиоклазовых тел.

В общих контурах месторождения структурный и литологический факторы определяют своеобразную грубую зональность минерализации ("структурно-фациальная зональность" по Великому А.С., 1961г.).

В более локальном плане намечается достаточно четкая связь хрусталеносности минерализации с наложенными структурами синклинального типа, включая седловинные складки (разделяющие основные блоки поля), так и комбинированные "будинаж-структуры" (Ануфриев Ю.Н., Шатнов Ю.А. и др., 1978г.). В зонах развития будинаж-процессов создавались, что вполне закономерно, благоприятные условия для формирования сложных трещинных зон – потенциальных локализаторов кварцевых жил (рис. 34.). При этом комбинированные структуры характеризуются наиболее высокими стабильными характеристиками минерализации:

- коэффициент минерализации структур (K_m) составляет до 60% в площадном варианте;

- усредненная "спрессованная" мощность кварцевых жил (m_{cp}) – до 2,2 м в контурах конкретных жильных зон;

- глубина развития минерализации (h) в 2,0-2,5 раза превышает вертикальный размер (Y_{max}) контролирующей локальной структуры.

В седловинных структурах минерализация проявлена более локально, с минимальными значениями для жильных зон месторождения показателями (K_m – 20%, m_{cp} до 0,6 м, h – не более 0,25 Y_{max} от килы складки).

Внутри обеих основных групп кварценосных образований устанавливается определенная связь интенсивности развития жил с характером поперечного сечения контролирующих складок. В комбинированных будинаж-структурах это видно в наметившейся обратной зависимости m_{cp} от величины эксцентриситета e гиперболических функций, описывающих сечение складок. В седловинных складках (и приближающейся к ним по типу сечения продольной будинаж-структуре, локализирующей Северную жильную зону) та же тенденция вырисовывается из увеличения m_{cp} в структурах с более высоким главным коэффициентом a аппроксимирующей параболической функции. Намечающаяся уравнивания связи:

$m_{cp} = 3.85 - 1.5e$ в случае типичных "будинаж-структур";

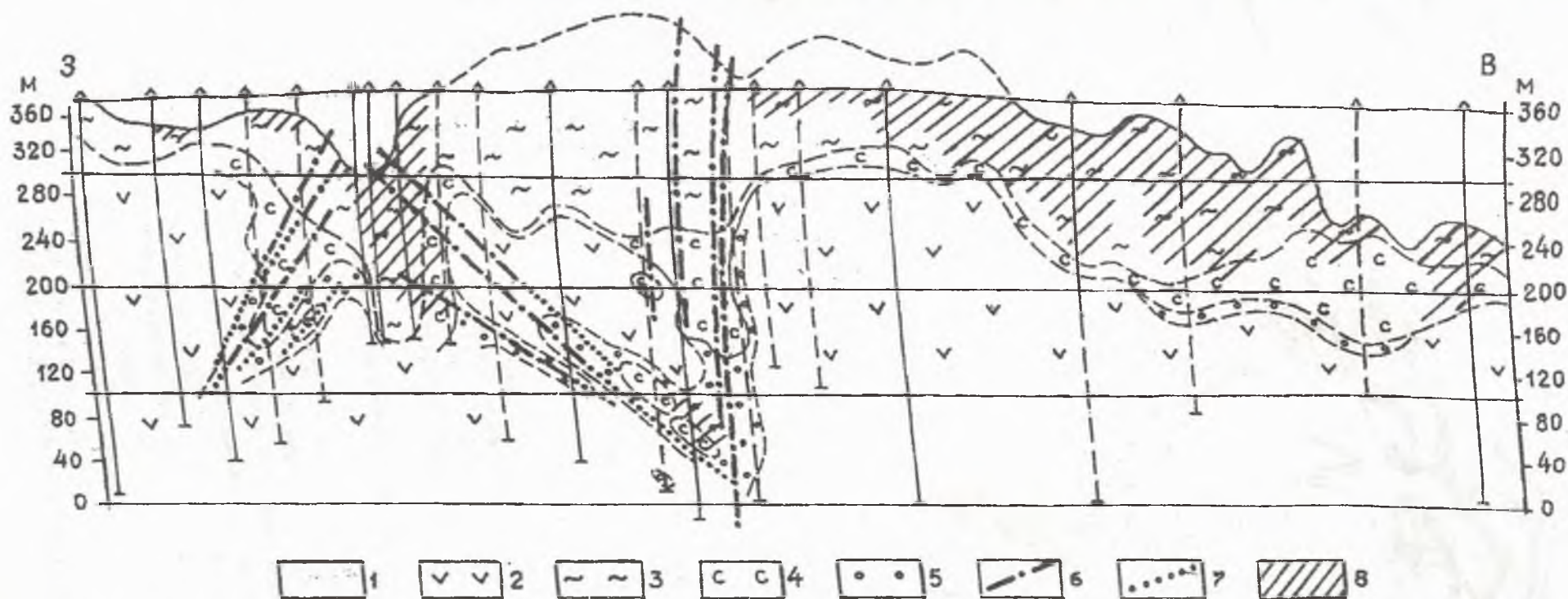


Рис. 33. Астафьевское месторождение. Геологический разрез (по Ю.А. Шатнову, 1982 г.)

1 – породы верхнего структурного яруса. 2 – породы нижнего структурного яруса. 3 – зона аргиллизации. 4 – зона серицитизации (мусковитизации). 5 – зона альбитизации. 6 – разрывные нарушения. 7 – участки затухания нарушений. 8 – кварцево-жильные зоны

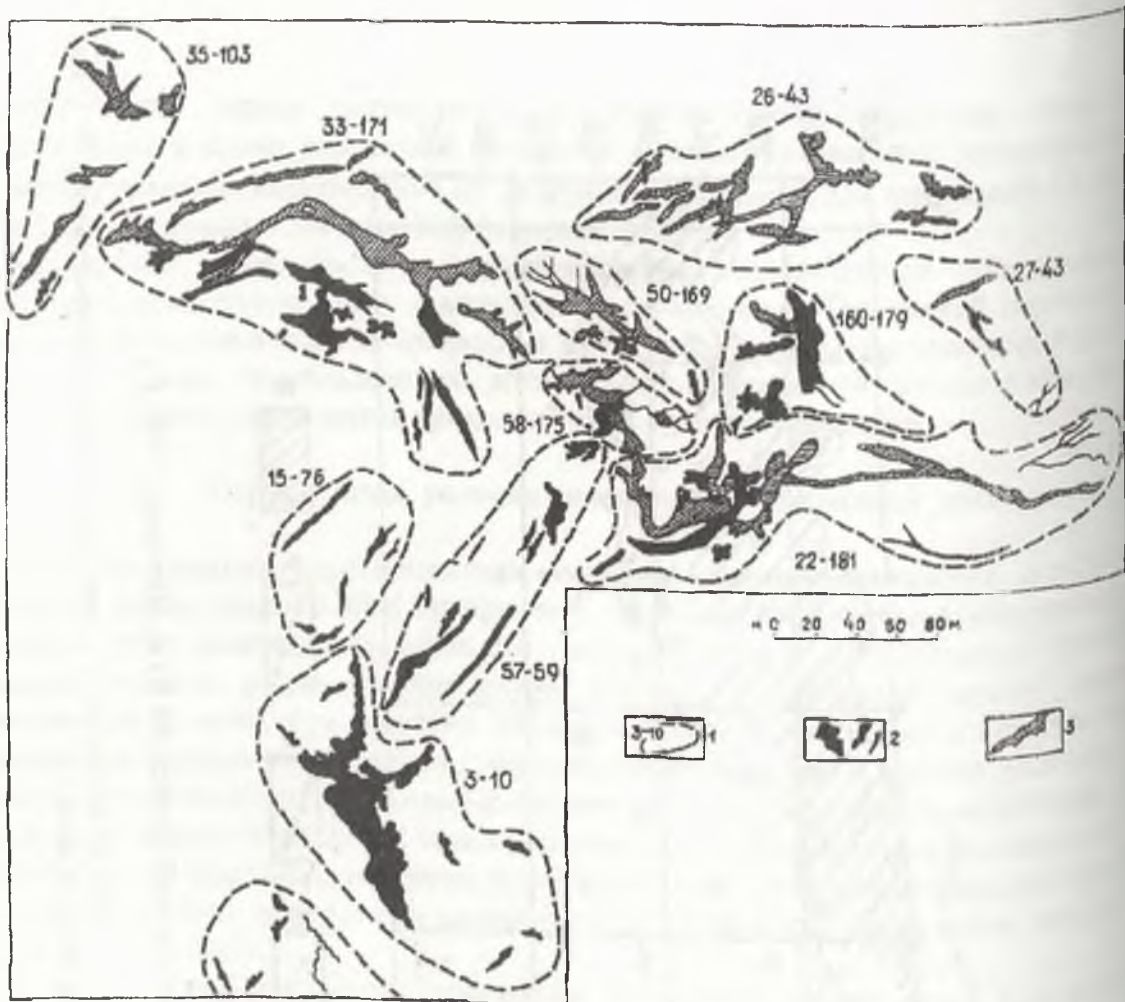


Рис. 34. Строение кварцево-жилых зон Астафьевского месторождения (по Ю.Н. Ануфриеву, 1978г.)

1 — контуры кварцево-жилых систем и их номера. 2-3 — кварцевые жилы, вскрытые карьером: 2 — на горизонтах 340-360 м; 3 — на горизонтах 300-320 м

$m_{cp} = 4(a - 0.1)$ в случае седловинных складок.

Другие характеристики жильных образований внутри выделенных групп признаков направленной изменчивости не несут.

Разрывные структуры месторождения вне связи с будинажными образованиями как проявление безрудны (типа нарушения № 7). Относительно слабо минерализованы сбросовые зоны даже в сочетании с комбинированными структурами (зона № 5а). Это обычно для линейных структур ограниченного развития оперяющих трещин (Вольфсон Ф.И., Лукин Н.И., 1960г.).

Гидротермально-метасоматические изменения вмещающих пород

Метасоматические процессы на площади Астафьевского месторождения имеют многоступенчатый характер (Ануфриев Ю.Н., Крылова Г.И., 1975г.; 1978; Нейкур Т.И., 1977г. и др.). На основной площади месторождения проявлены характерные изменения позднепалеозойского этапа метасоматоза. Они представлены образованиями кремнещелочной стадии этого этапа (биотитизация, альбитизация с характерным "шахматным" альбитом), так и стадии возрастающей кислотности (мощные окварцевания, хлоритизации, серицитизации). С последней стадией связано формирование основной массы кварцевых жил. Позднейшая переработка кварцевых жил вмещающих пород и развитие хрусталеносной минерализации связываются с изменениями поздней щелочной стадии (Ануфриев Ю.Н., Крылова Г.И., 1978г.). По характеру развития

элементов зональности (Кигаи И.Н., 1969г.). В условиях установленной эволюции хрусталеобразующих растворов в сторону снижения щелочности и температурности, с ростом кислотного потенциала, становление зональности данного типа вполне закономерно (Балицкий В.С., 1978г.). Это общая зональность месторождений полиасцендентного (Смирнов В.И., 1976г.), характерная для крупных промышленных месторождений гидротермального генезиса.

Общая зональность месторождения в определенной мере дополняется "зональностью рудного тела" – около наиболее крупных хрусталеносных жил и систем процессы гидротермальных изменений проявлены в максимальной степени с сохранением общего характера ореолов (по Н.С. Кухарю). Внутренняя зона – аргиллизиты (до 1.5 м), внешняя – существенно слюдистая (до 3м), с серицитом, гидрослюдами, хлоритом, новообразованным плагиоклазом, иногда – с фукситом.

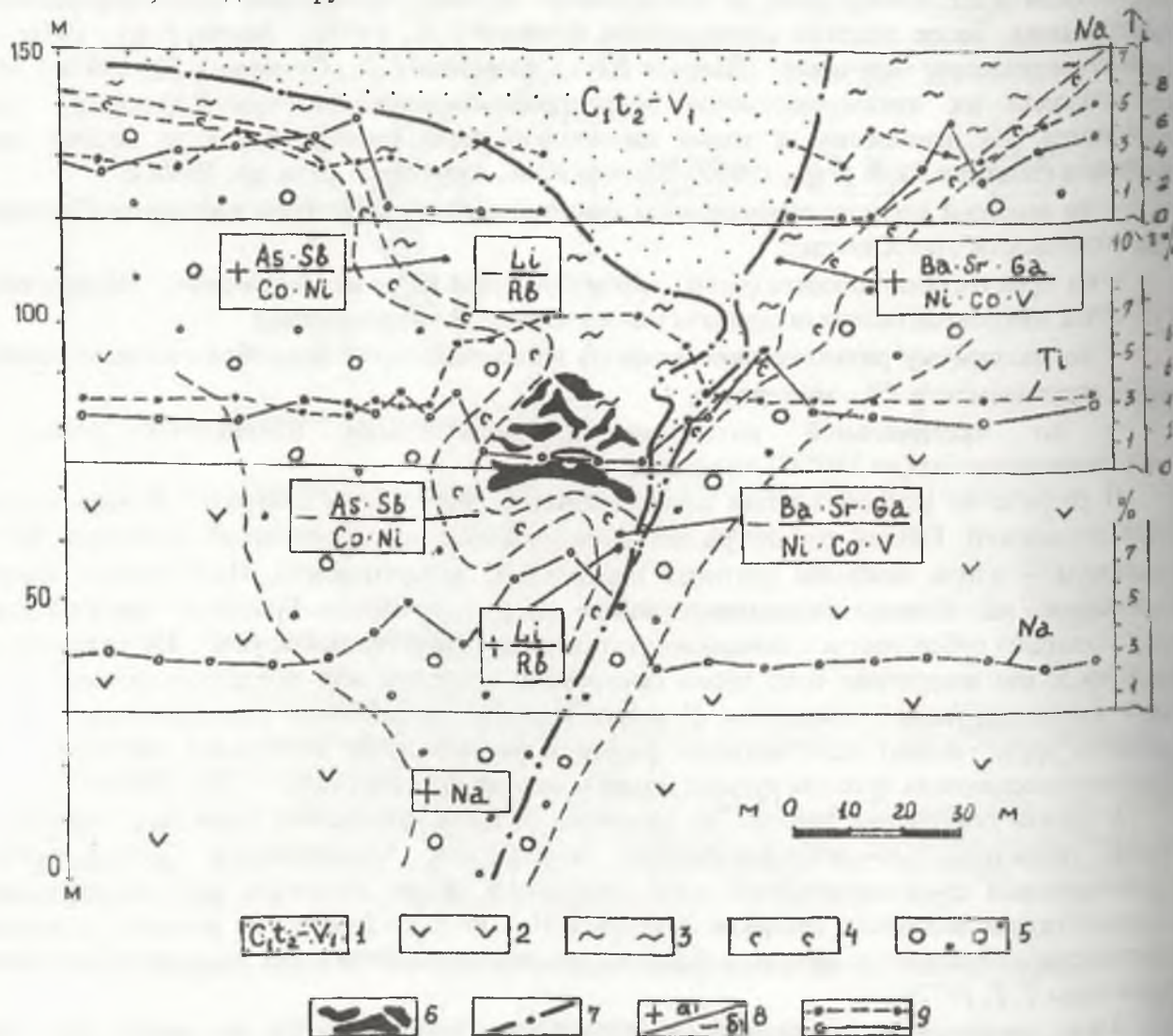


Рис. 35. Разрез-схема хрусталеносной будинаж-структуры II типа (зона Северная). (по Ю.А. Шатнову, 1985 г.)

1 – экранирующий комплекс (углистые сланцы, филлиты). 2 – рудовмещающий комплекс (метавулканик). Околожилные изменения: 3 – аргиллизация; 4 – серицитизация; 5 – альбитизация-карбонатизация. 6 – кварцево-жилная зона. 7 – разрывные нарушения. 8 – изменчивость коэффициентов: а) увеличение; б) уменьшение. 9 – графики изменения содержаний Ti и Na

Минерагеническая схема месторождения

На основе данных о гидротермально-метасоматической зональности и имеющейся структурной схемы (Ануфриев Ю.Н., Шатнов Ю.А., 1978г.) принципиальная минерагеническая схема месторождения намечается в следующем виде.

В первую очередь, четко определяется роль разрывной структуры № 2 (поперечная разрывная зона с проявленными раздвиговой и взбросовой составляющими) как основного рудоуподводящего канала (флюидостока). Для нее характерен предельный размах метасоматической колонки, максимальная мощность отдельных зон, наибольшая полнота профиля. К периферии месторождения, в нормальном к данной зоне направлении, общий объем метасоматитов хрусталеносного этапа сокращается, с постепенным затуханием и кварцево-жильной минерализации. Определенную рудоуподводящую роль играла разрывная структура № 5а (у западного фланга месторождения), но активность этого канала, судя по интенсивности развития связанных с этой структурой метасоматитов, не соизмерима со значением зоны № 2. Разрывные нарушения, оперяющие основную структуру на участке ее северного затухания, сопряженные нарушения других типов играли роль рудораспределяющих каналов, обеспечивающих латеральную транспортировку флюидопотока.

Специфична роль поверхности раздела "структурных ярусов". Повсеместные межформационные срывы обусловили ее значение как универсального рудораспределяющего фактора. В то же время несомненна функция этой поверхности (подошвы высокопластичных и слабопроницаемых пород) как практически идеального «экрана». В сочетании с купольной структурой месторождения наличие экранирующей толщи обеспечило формирование гигантской "структурной ловушки" хрусталеносных растворов, определившей во многом качественную и количественную уникальность объекта. Установившиеся практически идеальные условия предопределили образование мощного "застойного резервуара", что является одним из основных факторов хрусталеобразования [23]. При этом "застойные" условия существовали достаточно длительный период, без значительного сокращения объема минералообразующей среды. На это указывает масштабность проявления процессов каолинизации (аргиллизации), завершающих этап низкотемпературного метасоматоза (Нейкур Т.Л., 1977г.).

В морфоструктурном плане строение Астафьевского месторождения определяет подход к нему как к однокорневой минерализованной системе конического типа (с соотношением продольного l и вертикального h параметров >3), осложненной отдельными "паразитическими" корнями (Иванкин П.Ф., 1970г.). С глубиной установлено резкое изменение уплотненности минерализованного объема пород (от 0,5 ед. до 0,15 ед.), с характерной инверсией осей удлинения.

Кварцевые жилы месторождения

В пределах Астафьевского месторождения выявлены кварцевые жилы двух возрастных групп (Ануфриев Ю.Н., 1975г.). К первой группе отнесены слабо распространенные маломощные жилы и прожилки гранулированного кварца, залегающие в метавулканитах. Их образование связывается с кислотной стадией этапа ранней гранитизации. Практического значения эти жилы не имеют.

Вторую группу составляют кварцевые жилы, связанные с поздним этапом кремнещелочного метасоматоза. Жилы локализируются в породах обоих "структурных ярусов". При локализации в толще углистых филлитов жилы остаются практически нехрусталеносными.

В метавулканитовой толще эти (поздние) кварцевые жилы развиты наиболее широко. Они формируют обычно сложные, чаще всего – штокверкообразные зоны, состоящие из своеобразных жильных "систем" (по Ю.Н. Ануфриеву). Эти последние состоят из прихот-

ливо переплетающихся тел и прожилков – неправильной формы, изгибающихся и в плане, и в разрезе, не поддающихся по своей ориентировке строгой систематизации (рис. 3-4). Они наиболее характерны для локализирующих структур комбинированного типа. Обособленные выположенные жилы более простой формы (сложнолинзовидные) наблюдаются в структурных блоках типа "тектонического клина" (характерны для Западного участка Астафьевского поля). В седловинных складках и вблизи крупных нарушений наблюдаются также сравнительно простые крутопадающие жильные тела (типа жил №№ 3, 26, 33 и др.). На основной части месторождения (собственно Астафьевский объект) выделено четыре главных жильных зоны; за его пределами – еще 7 зон. Характеристики основных зон приведены (по Н.С. Кухарю, 1995 г.) в таблице 7.1. Параметры отдельных жил изменяются по простиранию от 18 до 65 м, по падению – от 10 до 42 м.

К типоморфным признакам кварца жил второй группы (как правило – хрусталеносный) относится крупно-гигантозернистая структура (индивиды до 1 м), при массивной, шестоватой и друзовой текстуре. Окраска кварца – белая, серовато-белая; визуально кварц достаточно прозрачен (T – порядка 35%), особенно в окологнездовых интервалах жил. Кварц слабо деформирован (волнистость погасания – не более 5-7 град/мм, блокованность – в среднем 3,5°). ППП – в среднем 0.05%; соотношение CO_2/H_2O в газовой-жидкой включениях – порядка 2-4 ед. Кривая декрепитации имеет обычно бимодальный облик (пики на $t^0=250^\circ$ и на $t^0 > 400^\circ C$). Состав растворов в ГЖВ кварца в основном – хлоридно-натриево-кальциевый; в окологнездовом кварце – хлоридно-натриевый и бикарбонатно-натриевый. Количество элементов примесей в кварце различных типов приведено в таблице 7.2. Минеральные примеси в кварце хрусталеносных жил представлены полевыми шпатами, мусковитом, сульфидами (пирит, пирротин и др.), карбонатами, рутилом и др.

Специфичным для месторождения является относительно высокое развитие карбонатов (кальцит, доломит, анкерит) в жильных телах глубоких горизонтов. Возможно – вверху они исчезают при более низкотемпературных процессах в зонах аргиллизации. Несомненный интерес вызывает развитие золотоносной минерализации (по В.Н. Огородникову, 1987 г.) проявленной в сульфидах и в основной массе метасоматитов ниже хрусталеобразования.

Особенности хрусталеносности Астафьевского месторождения

Кварцевые жилы месторождения являются многополостными хрусталеносными образованиями, с наложенным характером продуктивной минерализации. Большинство гнезд (по Н.С. Кухарю, 1995 г.) приурочено к висячему боку жильных тел (43% общего их числа). Форма гнезд – овальная, линзовидная, неправильная (соотношение примерно 3:1:2). Размер гнезд – до 36 м по наибольшему измерению. Наиболее характерны полости объемом до 2 м³. Над наиболее крупными полостными системами (в частности – над Октябрьской зоной, у ее западного фланга) намечается развитие зон дробления – брекчированных. Подобных зонам обрушения над полостями южно-якутских месторождений. При карьерной отработке данные зоны не всегда увязываются с ниже располагающимися полостными системами и рассматриваются большей частью исследователей как обычные тектонические образования. Масса гнездового выполнения представлена, главным образом, кристаллами горного хрусталя и их обломками, прозрачным перекристаллизованным кварцем (бесцветным, дымчатым), сцементированными рыхлым охристо-глинистым материалом. В нем отмечается хлорит, серицит, гидрослюды, магнетит, сульфиды. Для отдельных характерно развитие пирита (верхняя часть Октябрьской зоны), образующего друзовое срастание с кварцем и горным хрусталем.

Для горного хрусталя месторождения наиболее характерны кристаллы тригональной

пирамидального и обелисковидного облика, средне-длиннопризматического габитуса, хотя встречаются индивиды и гексогонально-призматического типа, и короткостолбчатые, и удлинённые "пальчиковые" кристаллы. Размеры кристаллов – разнообразные, от первых сантиметров до 2,2 м по L_3 и весом до 2,5 т (по Н.С. Кухарю, 1995). Обычный размер кристаллосырья – до 15-20 см по L_3 , весом в первые килограммы. Окраска кристаллов – преимущественно дымчатая, различной степени интенсивности (около 65% всего кристаллосырья). Обычны также бесцветные кристаллы, редко отмечаются цитриновые разности. Наведенная окраска (после γ -облучения) – цитриново-дымчатая ("оливковая"), дымчатая и цитриновая; реже бесцветные кристаллы не изменяют свою окраску. Дефектами кристаллов являются обычные для горного хрусталя гидротермального генезиса газово-жидкие включения (особенно для наиболее крупных индивидов), бразильские и дофинейские двойники, твердые минеральные включения (пирит, карбонаты, реже – магнетит, герсдорфит, ксенотим и др.). Отмечаются также кристаллы с "голубыми лучами" (и единичными, и целыми их скоплениями). С поверхности кристаллы часто покрыты железисто-охристой "рубашкой", присыпками микрокристаллов кварца. Сохранность кристаллов как правило высокая. По химическому составу горный хрусталь Астафьевского месторождения характеризуется относительно повышенным содержанием отдельных примесей (табл. 7.2.), в первую очередь Al и щелочей (Na и K).

В распределении хрусталеносной минерализации в границах Астафьевского месторождения проявляется отчетливая зональность, наследующая обычную гидротермально-метасоматическую зональность месторождения (Шатнов Ю.А. и др., 1983г.). Максимальной хрусталеносностью и наиболее высоким качеством сырья (исходя из содержания пьезокварца) характеризуются участки жильных зон и отдельные жилы, вскрытые в зонах аргиллизации, в меньшей мере – мусковитизации (с существенным снижением качества сырья). Минимальной хрусталеносностью должны характеризоваться жилы из зон альбитизации-карбонатизации (по косвенным данным). Ориентировочно для месторождения наиболее продуктивный интервал жильных зон составляет верхние 120-140 м (от кия контролирующих складок), ограниченно продуктивный – 120-240 м. Соответственно для месторождения в целом глубина залегания продуктивного интервала составляет 200-250 м.

Наряду с изменчивостью околожильных ореолов, развитие хрусталеносной минерализации фиксируется специфическими характеристиками жильного кварца вмещающих тел. Для кварца наиболее хрусталеносных жил характерны:

- высокая декрептоактивность в низкотемпературном интервале (ср $N_{380^\circ} = 40-43\%$);
- стабильно низкие характеристики деформационных показателей (блокованности зерен и волнистости погасания);
- повышенное светопропускание, в среднем 55%;
- хлоридно-бикарбонатный тип растворов в ГЖВ;
- высокие содержания Na и Sc .

Между этими параметрами установлены (Ю.А. Шатнов, А.Л. Загорюев, 1980г.) значимые корреляционные связи.

Достаточно высокий уровень корреляции определяется также между показателем декрептоактивности кварца в интервале 100-380°C и содержанием пьезосырья в жильной породе (данные Ю.А. Шатнова, 1980г; машинная обработка А.Л. Загорюева). При этом для соотношений C (содержание пьезокварца, кг/м³) и D (показатель декрептоактивности N_{380° , %) установлена формула граничной функции, учитывающей связь между параметрами и возможную дисперсию значений [32]:

$$C \leq 2,6 \cdot e^{\frac{(D-100)^2}{1250}}$$

Таблица 7.1.

Характеристика кварцево-жильных зон Астафьевского месторождения (по Н.С. Кухарю, 1995г.)

№ пп	Наименование зон	Форма		Параметры, м		Элементы залегания			Глубина залега- ния, м (абс.отм.)	K кварце- носнос- ти	Число отрабо- танных жил	Положение в эрозионном срезе
		В плане	В разрезе	В плане	В разрезе	Падение	Угол падения	Склоне- ние				
1.	Октябрьская	Изометрич- ная	Клино- видная	325x250	230	Субверти- кальное	-	СЗ 85°	350-120	0.053	8	Слепое залегание
2.	Северная	Линейная	-	1080x300	200	Южное	85°	В 40°	375-175	0.028	32	Вскрыт эрозией западный фланг
3.	Центральная	Овальная		420x200	190	Юго-за- падное	40°		380-190	0.013	36	Вскрыта эрозией
4.	Южная	Субизомет- ричная		210x140	240	Субверти- кальное		С 30°	290-50	0.016	Не отра- батыва- лась	Слепое залегание

Таблица 7.2.

Содержание элементов-примесей в кварце различных типов Астафьевского месторождения (по Н.С. Кухарю, 1995г.)

№№ пп	Типы кварцевых образований	Содержание элементов – примесей, n·10 ⁻⁴ % (среднее)										
		Al	Fe	Ca	Ge	Cr	Si	Ti	Mn	Mg	Na	K
Жильный кварц												
1.	Нехрусталеносные жилы углисто-сланцевой толщи	40.7	8.0	21.7	0.8	0.07	0.5	0.7	0.8	1.2	90.0	17.1
2.	Хрусталеносные кварцевые жилы	159.3	27.4	21.4	19.5	1.3	0.17	1.5	3.4	1.5	102.4	51.0
3.	Хрусталеносные карбонат-кварцевые жилы (глубокие горизонты)	188.0	26.0	31.6	1.1	0.23	0.34	1.2	3,3	2.0	124.2	19.1
Кристаллы горного хрусталя												
4.	Хрусталеносные кварцевые жилы	53.1	12.2	8.5	1.1	0.05	0.09	1.4	0.5	0.9	39.5	16.5

Данные соотношения использованы при оценке потенциальной продуктивности глубоких горизонтов месторождения (Ю.А. Шатнов, 1980г.).

Промышленная значимость Астафьевского месторождения

В практическом отношении Астафьевское месторождение является базовым источником природного пьезооптического кварца России. По своим масштабам, с учетом его Западного участка, оно (единственное в стране) может быть отнесено к уникальным промышленным объектам. В его разведанных контурах сосредоточено 66,5% балансовых запасов пьезооптического кварца России, а за его границами (на площади поля) – до 86% прогнозных ресурсов этого вида сырья.

Качество добываемого пьезосырья – наиболее высокое из всех разрабатывавшихся до последнего времени (с 60-х годов) хрусталеносных месторождений, с преобладанием сырья высоких сортов (табл. 7.3.). Данное месторождение является также единственным на сегодня природным источником высококачественного (крупноразмерного) затравочного материала для синтеза монокристаллов кварца. Астафьевское месторождение (единственное в стране) может обеспечить также получение сырья для пьезотехники нового поколения – мембранных резонаторов гигагерцевого диапазона частот. Общий выход пьезооптического кварца из кристаллосырья составляет (табл. 7.4.) 0,86% (по Н.С. Кухарю, 1995г.) – 1,23% (по данным 1982г.).

Таблица 7.3.

Характеристика сортности кварцевого сырья месторождений Южного Урала
(соотношение сортов, в %)

Наименование месторождений	Пьезооптический кварц ОСТ 41-07-049-89					Горный хрусталь для плавки ОСТ 41-07-152-86		
	Опти ка	Экс тра	Выс- ший	Ic	IIc	Ic	IIc	IIIc
Астафьевское	1.0	8,4	43.1	29.9	17.2	8.1	66	85.3
Джаман-Акжар								
Блок 4	-	4.8	23.2	42.6	29.4	5.3	39.5	55.2
Блок 1	3.2	17.8	50.54	13.9	13.5			
Светлое						Без учета химсостава		
Жилы в амфиболитах	1.1	6.8	(25,0)*	(51.2)	(15.9)	56.2	37.5	6.3
Жилы в сланцах		6.7	(26.7)	(42.7)	(23.9)	17.2	65.5	17,3
Пегматиты	-	-	(63,5)	(263)	(10.0)	23.2	27.9	48.9
* – цифры ориентировочные, переведенные из данных сортировки 60-70-х годов (по ТУ-№ 1-63г)								

При общих крупных масштабах проявления хрусталеносной минерализации, месторождение является и крупнейшим по запасам горного хрусталя для плавки (содержит 41,5% балансовых запасов страны). Однако по качеству плавочного сырья оно не всегда

удовлетворяет требованиям действующих ТУ из-за повышенных содержаний Al , часто щелочей, резко снижающих его потребительские свойства. Общий выход горного хрусталя для плавки из добываемого кристаллосырья – 62,4%, при этом третий сорт составляет до 85% от этого выхода (по данным Н. С. Кухаря). Полностью (по химсоставу) требованиям действующего до 1997 года ОСТ 41-07-152-86 на плавочное сырье удовлетворяет не более 50% кристаллосырья.

Ресурсная база месторождения, несмотря на достаточно интенсивную более чем полувековую эксплуатацию, далеко не исчерпана. Обоснованны прогнозные ресурсы промышленной минерализации на крайнем восточном фланге месторождения (зоны Северная, Нагорная, Восточная), на Аномальном участке (зоны Озерная и Береговая). Есть реальные предпосылки выявления продуктивной минерализации в границах Алексеевогорской структуры (в 4 км к востоку от месторождения), по ряду признаков близкой к Астафьевскому жильному полю (Ю.А. Шатнов, 1982г.).

К сожалению в сложившихся экономических условиях эксплуатационные работы на месторождении практически прекращены. Добычной карьер, из-за остановки водоотлива, более чем на половину затоплен ("мокрая консервация"), и частичная добыча сырья производится только из разведочных штолен по зоне Дальней (на сочленении Центрального и Восточного выступов жильного поля).

Таблица 7.4.

Технико-экономические характеристики эндогенных месторождений
Южно-Уральской субпровинции

№ № пп	Наименование параметров	Ед. измер.	Месторождение Астафьевское	Месторождение Джаман-Акжар
1	Количество подсчётных блоков на месторождении	ед.	13	2
2	Глубина развития кварцевых жил	м	327	100
3	Предполагаемая глубина развития продуктивной хрусталеносной минерализации	м	240 (Шатнов, 1980г.)	60
4	Глубина фактической отработки	м	140 (на 1991г.)	20-40 (на 1976г.)
5	Минимальное промышленное содержание пьезокварца на продуктивную массу	г/мнбл на 1 м ³	5,01	1,77
6	Приток трещинных вод	м ³ /час	До 72	302 (до глубины 50м) 568 (до глубины 100м)
	Расчётные данные по типовым блокам		Блок 4-ПТ-2 (Ануфриев, 1960г.)	
7	Высота блока (среднее)	м	69	20,42
8	Число подсечений жильных тел, всего:	ед.	129	54
	в т.ч. с мощностью > 1 м	ед.	21	7
9	Суммарная мощность жильных пересечений	м	112,4	50,0
10	Коэффициент кварценоности блока	%	1,1	0,5; 0,9

11	Среднее содержание пьезокварца (мнбл):			
	на продуктивную массу	г/м ³	10,48	1,87; 2,54
	на жильную массу	кг/м ³	1,15	0,37; 0,88
12	Среднее содержание горного хрусталя для плавки:			
	на продуктивную массу	кг/м ³	1,02	0,12
	на жильную массу	-«-	111,7	24,0; 13,3
13	Выход пьезокварца из кристаллосырья	%	1,2	0,86
14	Коэффициент вскрыши	ед.	3,17	2,0
Фактические данные по приповерхностной (до 30 м) части месторождения:				
15	Вскрыто: россыпей,	шт	12	10
	продуктивных жил	шт	30	74
16	Содержание пьезокварца (мнбл):			
	по россыпям	г/м ³	300-400	19,0
	по жилам (на жильную массу)	кг/м ³	7-12	

7.1.2. Месторождение Джаман-Акжар

Месторождение расположено на востоке Оренбургской области, в степной равнинной местности (абс. отм. 310-330 м). Территориально часто объединяется в единое месторождение с участком Речным, под общим наименованием "Теренсайское месторождение", что не совсем обоснованно. Более оправдана схема Д.М. Белика, по которой данные объекты, с рядом других полей и участков (Прибрежное, Западное, Западно-Нурбайское, Майское, Байтукское), рассматриваются как автономные кварцево-жильные поля. В совокупности с расположенными к В и ЮВ проявлениями и месторождениями Мироновское и др.) эти объекты образуют единый Теренсайский (или Адамовский) хрусталеносный узел.

Площадь Теренсайского узла и составляющие его промышленно-хрусталеносные объекты изучались, с момента его открытия в 1954г. (Н.В. Есин и др.), вплоть до конца 80-х годов. Основной вклад в его освоение внесли геологи экспедиции №101 (позднее – ПО "Уралкварцсамоцветы") в лице Д.М. Белика, Л.М. Петрухи, Ю.И. Бурьяна, В.П. Дроздова, В.В. Мельника, В.Я. Горбачева, В.Ф. Зеленкова, Г.И. Страшненко, В.Ю. Чуксеева, Б.Ф. Невского и др. Настоящий раздел (описание месторождения) составлен на основе материалов Ю.И. Бурьяна из сводной работы "Геология основных месторождений кварцевого сырья" по объектам Уральской провинции, 1995г. и В.Ю. Чуксеева геологический отчет, 1979г.); с отдельными дополнениями.

Геологическое строение

Теренсайский узел приурочен к западной краевой зоне Восточно-Уральского поднятия, локализуясь в границах СЗ замыкания Адамовской горст-антиклинальной структуры гранито-гнейсового купола). Непосредственно месторождение Джаман-Акжар располагается в своде Нурбайской антиклинали, осложняющей западное крыло купольной структуры (рис. 36.). В его строении принимают участие вулканогенно-осадочные образо-

вания 0-S и перекрывающие их терригенно-осадочные породы C_1 . Вулканогенно-осадочные породы подразделяются на четыре толщи (снизу вверх):

- амфиболитовую (амфиболиты и плагиоклаз-амфиболовые сланцы);
- туфогенно-осадочную (кварц-хлорит-плагиоклазовые и графитистые сланцы);
- вулканогенную (порфиритоиды и базальтоидные сланцы);
- туфогенную толщу (серицит-кварц-плагиоклазовые и филлитовидные сланцы).

Для пород вулканогенной толщи характерно повышенное содержание Na_2O , что А.А. Евстроповым рассматривалось как определяющий показатель их хрусталеносности (значение $Na_2O/K_2O > 10$ для высокопродуктивных разностей, $Na_2O/K_2O < 5$ – для низкопродуктивных участков).

Терригенно-осадочные породы представлены углисто-глинистыми сланцами, филлитами, с пластами песчаников и конгломератов.

Интрузивные породы представлены дайками и жильными образованиями верхнего девона (плагиопорфиры и плагиограниты) и нижнего карбона (диабазы, диорит-порфириды, микродиориты и др.).

Непосредственно месторождение Джаман-Акжар локализовано в горст-антиклинальном осложнении Нурбайской антиклинали, с нормально развитым западным и срезанным восточным крылом. Осевая плоскость осложняющей структуры наклонена к Z под углом $60-80^\circ$. С севера и юга площадь месторождения (и локализирующая структура) обрезаются диагональным СВ и широтным разрывами, соответственно нижнекаменноугольного и верхнепалеозойского возраста.

На площади месторождения, по породам всего палеозойского комплекса, развита мезозойская кора выветривания. С поверхности коренные породы перекрыты четвертичными глинами и суглинками, мощностью до 20 м.

В минерагеническом плане образование Джаман-Акжарского месторождения, как и формирование в целом Теренсайского хрусталеносного узла, связывается со становлением Адамовского гнейсо-гранитного купола, явившегося определяющим тепло-флюидистоксом (по Г.И. Страшненко, 1975г.). Роль рудоподводящих структур играли в основном субширотные разрывы, проявляющиеся в виде мощных (до 50 м) зон рассланцевания, один из которых ограничивает с юга площадь месторождения. Рудолокализирующими являются трещинные зоны, проявленные в своде горст-антиклинального осложнения Нурбайской антиклинали, в основном в породах вулканогенной толщи 0-S комплекса. Экранирующее влияние на минерализацию оказали, по всей видимости, сланцево-филлитовые толщи 0-S ("туфогенная толща") и C_1 (углистые сланцы, также филлиты, песчаники).

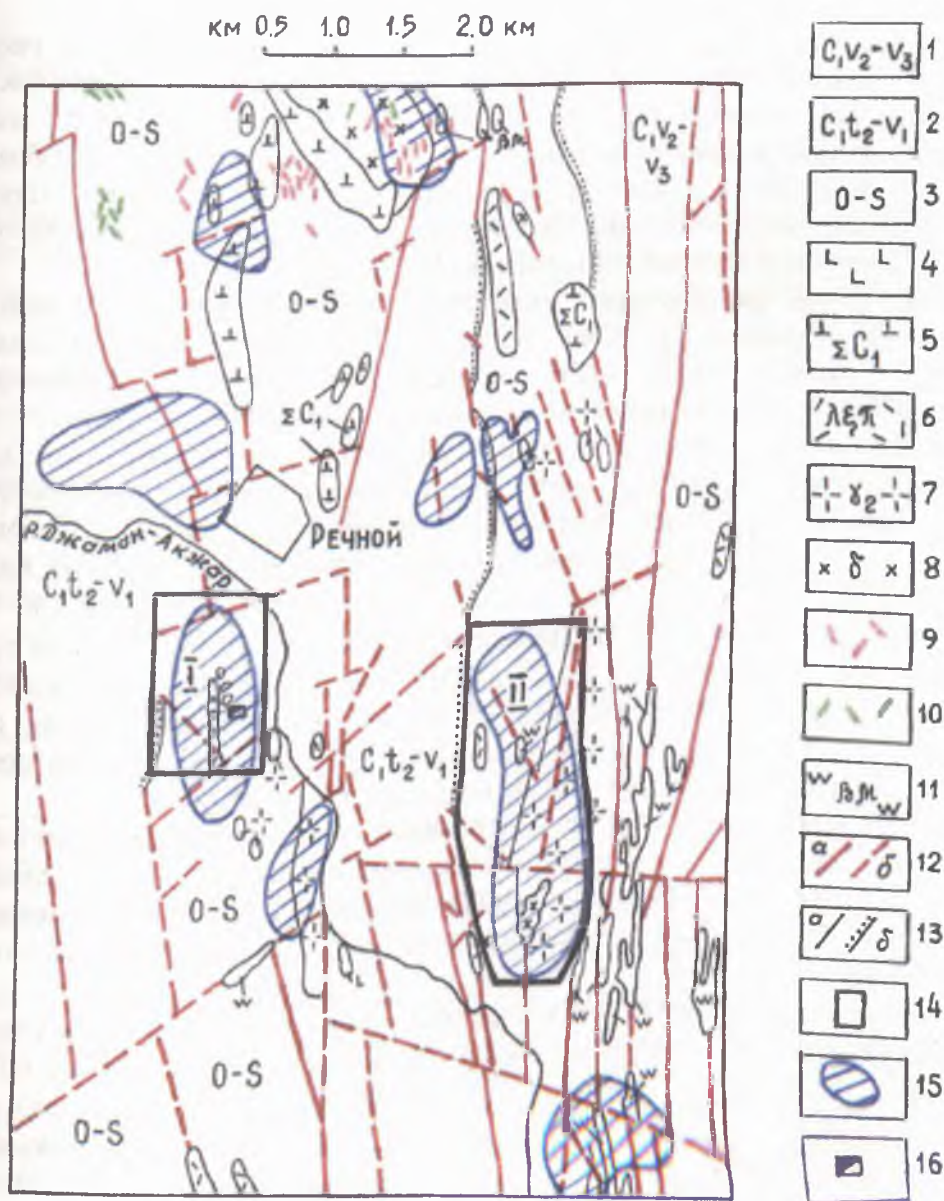


Рис. 36. Геологическая карта площади Теренсайского месторождения
(по Ахмонову Г.Г. и др., 1975г.)

Нижний карбон. 1 – мергелистые известняки, кварциты и мраморы; 2 – углисто-глинистые сланцы, песчаники.
Пермский карбон. 3 – порфироиды, туфы, зеленые и роговообманковые сланцы. **Интрузивные образования.**
Нижний карбон. 4 – диабазы, диабазовые порфиры, габбро-диабазы; 5 – серпентиниты. **Средний-верхний карбон.** 6 – дациты, плагиопорфиры, кварцевые кератофиры. **Нижний-средний девон.** 7 – плагиограниты, анодиориты; 8 – диориты, диоритовые порфиры. **Жильная серия.** 9 – граниты, гранит-порфиры, плагиограниты; 10 – диориты, кварцевые диориты, диабазы. 11 – **нижний карбон** (V_2-n): метасоматиты. 12 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые. 13 – геологические границы: а – согласные, б – несогласные. 14 – площади участков Теренсайского месторождения: I – участок Джаман-Акжар, II – участок Речной. 15 – участки концентрации кварцевых жил. 16 – разведочная шахта "Морион"

Кварцево-жильная минерализация

Для месторождения Джаман-Акжар характерно крайне неравномерное распределение кварцевых жил в разрезе вмещающей вулканогенной толщи. Максимальная насыщенность кварцевыми жилами установлена для порфиритоидов базальтового состава, концентрируются и продуктивные жильные тела. Кварцевые жилы в плане образуют вытянутую зону размерами до 450х200 м, с параметрами продуктивной (промышленно-хрусталеносной) части около 400х140-180 м. На глубину минерализация распространяется на 160 м, при мощности продуктивной зоны порядка 80-100 м.

В зоне выделяется три основных "узла" кварцевых жил (северо-западный, южный, северо-восточный) размерами в плане до 150-120 м, при площадном коэффициенте кварценосности порядка 0.2-0.5%. Треть площади зоны занимают практически пустотные интервалы ($K_{кв}=0.1-0.2\%$), разделяющие намечающиеся "узлы" минерализации.

Жильная зона и составляющие ее "узлы" образованы многочисленными кварцевыми жилами (более 230 жил, из которых около 70 отработано) сравнительно простой формы относительно рассредоточенного залегания. Преобладают жилы линзовидные, плитообразные (около 62%), менее распространены осложненные тела (38%). Размеры жил всех типов – по простиранию 15-20 м (до 32,5 м), по падению – 6-8 м (до 15 м), по мощности до 3,4 м. Залегание жил – сравнительно пологое для хрусталеносных тел (до 40°), резко наклонное для всей массы жил (от 10 до 70°). Падение – западное и юго-западное в центральной части месторождения, восточное – юго-восточное на его флангах. Положение жильных тел по отношению к вмещающим породам субсогласное, секущее, диагональное; секущее; хрусталеносные жилы имеют как правило секущее залегание.

Кварцевые жилы месторождения относятся к мономинеральным кварцевым образованиям. Жильный кварц – серовато-белый, светло-серый, молочно-белый, редко слабодымчатой окраски. Преобладающим развитием (более 90% жил) пользуется кварц крупно-гигантозернистой структуры (размер зёрен 2-10 см и более), массивной, реже шестоватой текстуры.

Уровень развития деформационных структур (от единичных полос скольжения до блокованности зёрен) относительно невысокий. В зависимости от насыщенности ГЖВ кварц имеет различную прозрачность – T изменяется от 2% (непрозрачный кварц) до 35-50% (полупрозрачный) и более 55% (прозрачный, обычно – околосредовой). Показатель T колеблется от 0.003 (прозрачный кварц) до 0.126% (замутненные разности). Минеральные примеси, развитые в основном в зальбандах и в пустотах жильной породы, представлены:

- сульфидами (пирит, в скоплениях до 10х21 см);
- окислами и гидроокислами (гематит по трещинкам, гидроокислы Fe и Mn),
- фосфатами (бледно-зеленый апатит);
- силикатами (адуляр, эпидот, сфен, хлорит, биотит, серицит);
- карбонатами (кальцит).

В составе химических примесей преобладают (табл. 7.5.) Al (ср. $15,6 \cdot 10^{-4}\%$), Ti (ср. $0,45 \cdot 10^{-4}\%$), Ca (ср. $11,1 \cdot 10^{-4}\%$), Na (ср. $23 \cdot 10^{-4}\%$), K (ср. $42 \cdot 10^{-4}\%$). При этом кварц нехрусталеносных и хрусталеносных жил из терригенно-осадочных пород характеризуется высокой химической стерильностью (Al – $4,8-9,2 \cdot 10^{-4}\%$; Na – $0,5 \cdot 10^{-4}\%$; K – $0,4-2,2 \cdot 10^{-4}\%$; Li – $0,01-0,02 \cdot 10^{-4}\%$ и т.д.).

Таблица 7.5.

Содержание элементов-примесей в кварце различных типов месторождения
Джаман-Акжар

Типы кварцевого материала	Содержание элементов-примесей, $n \cdot 10^{-4}\%$ (среднее)											
	Al	Fe	Ca	Ge	Cr	Si	Ti	Mn	Mg	Na	K	Li
Жильный кварц (по Д.М. Белику)												
Хрусталеносные жилы вулканогенной толщи	22.2	-	19	-	-	0.15	0.5	2.1	4,3	1.1	1.7	0.1
Хрусталеносные жилы терригенно-осадочной толщи	9.2	-	4.2	-	-	0.28	0.4	0.5	2.5	0.6	2.2	0.02
Нехрусталеносные жилы терригенно-осадочной толщи	4.8	-	1.4	-	-	1.2	0.2	0.4	1.5	0.5	0.4	0.01
Кристаллы горного хрусталя (по Ю.И. Бурьяну, 1995)*												
Хрусталеносные жилы	12.8	2.8	2	-	-	0.2	0.5	0.3	3.4	1.7	3.2	-

* -Данные по сырью уч. Речной, аналогичного сырью месторождения Джаман-Акжар

Состав растворов ГЖВ в нехрусталеносных кварцевых жилах (по Ю.Н. Ануфриеву, 1975г.) – гидро-карбонатно-натриево-кальциевый, в хрусталеносных жилах около полостей – натриево-хлоридный. Температура массовой декрепитации хрусталеносного кварца 220-280°.

В целом хрусталеносные жилы характеризуются: чаще проявляющейся плитообразной сложной формой, секущим положением; более крупными размерами; крупно-игантозернистым кварцем; повышенной прозрачностью кварца.

Особенности хрусталеносности месторождения

Хрусталеносные полости месторождения относятся к внутрижилым наложенным образованиям. Они локализуются преимущественно на участках выклинивания жил по падению и склонению, реже – в лежащем боку жил, в их центральных частях и на пересечении апофиз (рис.37.). Форма полостей – линзо-и клиновидная (78%), вытянутая или ложная (неправильная, разветвленная). Максимальные размеры полостей – 27.0x10.0x1.4 м, 6.0x5.0x1.1 м, 19.0x15.0x1.5 м на флангах месторождения, до 38.0x7.0 м в его центральной части. Максимальный объем – порядка 180 м³ (протяженные полости). Наибольшей продуктивностью характеризуются неправильно-протяженные ("пластообразные") полости, обеспечившие более 80% добычи пьезокварцевого сырья. С единичной кварцевой жилой считается как правило одна хрусталеносная полость.

Масса гнездового выполнения хрусталеносных полостей состоит из кристаллов кварца, бломков измененных вмещающих пород, жильного кварца (как правило перекристаллизованного полупрозрачного), хлорита, адуляра, кальцита, с отдельными включениями сфена, апатита, пирита и галенита. Основной материал – хлорит, представленный рипидолитом (прохлоритом). В отдельных гнездах встречается онтропит,цементирующий кварцевую брекчию.

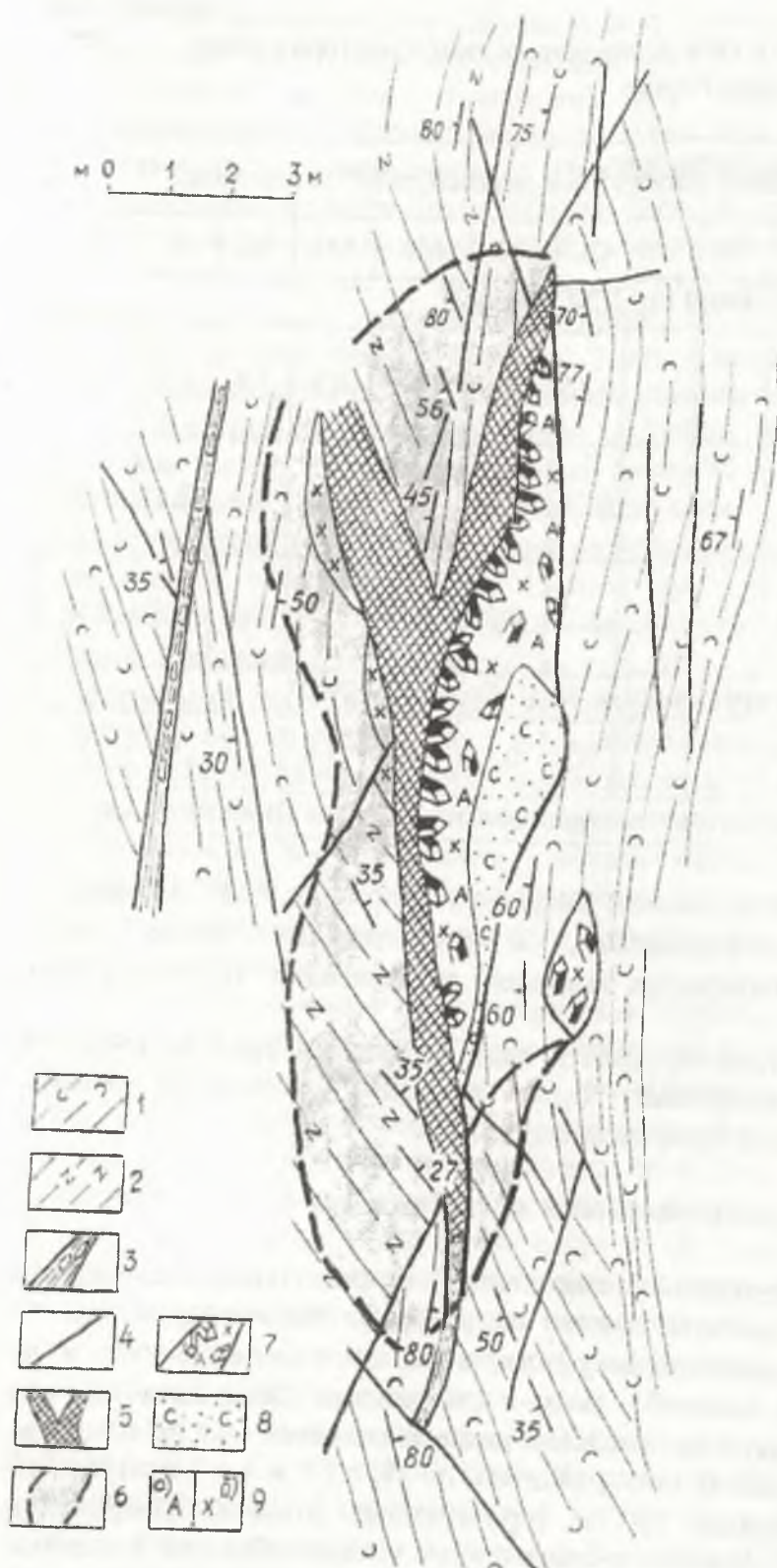


Рис. 37. Месторождение Джаман-Акжар.

Строение жильного тела в плане (ж. Д-96, гор. 248 м; по В.Ю.Чуксееву, 1979г.)

- 1 — кварц-хлорит-плагиоклазовые и гранатсодержащие сланцы, 2 — порфиритоиды и метаморфиты основного состава. 3 — зоны расланцевания и брекчирования. 4 — тектонические трещины. 5 — кварцевые жилы. 6 — проекция кварцевых жил. 7 — хрусталеносные полости. 8 — осветление пород. 9 — минеральные агрегаты: а) адуляра; б) хлорита

Кристаллы горного хрусталя представлены бесцветными, цитринными и дымчатыми разновидностями. Большинство кристаллов имеет коротко- и среднепризматический облик, реже — обелисковидный. Обычен псевдогексагонально-призматический габитус, отмечены также тригонально-призматические и тригонально-остроромбоэдрические формы. Внутреннее строение кристаллов характеризуется частым проявлением различных кристаллизационных и деформационных дефектов. К ним относятся:

— мозаичность (свилеватость), в грубой или тонкой форме;

— двойникование (особенно дофинейского типа),

— твердые включения, характерные для большей части кристаллосырья (хлорит, флогопит, адуляра, апатит, кальцит),

— поверхностные "рубашки" из гидроокислов Fe или кальцит-пиритового агрегата;

— развитие газовой-жидких включений;

— наличие залеченных (внутриминерализационных) и сухих (постминерализационных) трещин.

Размеры кристаллов — от 5-10 до 180 см по оптической оси, при весе от сотен граммов до 1300 кг; преобладают кристаллы и их обломки весом в первые килограммы. Качество кристаллов в целом весьма высокое, обеспечивающее выход моноблоков пьезокварца на уровне 0.67% от всего кристаллосырья, горного хрусталя для плавки — на уровне 54.6%. При этом плавочное сырье характеризуется, по содержанию химических примесей (табл. 7.5), высокими потребительскими свойствами (на уровне лучших месторождений Приполярного Урала).

Гидротермально-метасоматическая зональность месторождения отражает (по Ю.И. Бурьяну) трехстадийную схему его формирования. Наиболее ранняя постмагматическая (или ранняя щелочная) стадия проявлена в виде "региональной" биотитизации пород. Вторая стадия – кислотного выщелачивания и сопряженного отложения его продуктов (в том числе жильного кварца). Наблюдаемые ассоциации метасоматических минералов этой стадии – кварц $\pm$ цоизит $\pm$ хлорит $\pm$ карбонат $\pm$ пирит – обычны для всего блока месторождения. Специфично лишь развитие пирита, наиболее характерного для его южного фланга (возможно – в связи с близостью субширотной разрывной зоны). Непосредственно около кварцевых жил усиливаются процессы окварцевания, хлоритизации, серицитизации. Третья стадия – стадия поздне-щелочной переработки пород, обусловившая формирование альбит-адуляровых метасоматитов, горного хрусталя (за счет перекристаллизации жильного кварца в первую очередь) и массы гнездового выполнения.

Зоны изменений поздне-щелочной стадии фиксируются в виде участков осветления (кварц-альбитовый агрегат), в плагиопорфирах в наибольшей степени. Метасоматиты позднего этапа – наиболее информативны в отношении хрусталеносных кварцевых жил. Мошность зон их развития – до 3 м от контактов жильных тел.

Одной из существенных особенностей хрусталеносной минерализации месторождения является достаточно интенсивное развитие здесь продуктивных россыпей. И на его площади, и в пределах близрасположенного участка Речной до 70-х годов практическое значение имели лишь аллювиально-делювиальные россыпи горного хрусталя. К настоящему времени россыпи в основном отработаны.

Практическое значение и перспективы месторождения Джаман-Акжар

Месторождение Джаман-Акжар разведывалось и эксплуатировалось, как второй после Астафьевского промышленно-хрусталеносный объект Южного Урала, с конца 50-х годов. По разведанным запасам и пьезокварца, и горного хрусталя для плавки оно является одним из немногих крупных хрусталеносных объектов России. В то же время при рассредоточенном развитии продуктивных жил в жильных зонах, неравномерной их хрусталеносности, невыдержанном качестве сырья концентрация полезных компонентов в этих зонах невысока. Среднее содержание пьезокварца составляет 5,7-6,7 г/м³ на продуктивную породу, плавочного сырья – около 0,46 кг/м³. Нижние горизонты месторождения – глубже 30 м – довольно сильно обводнены (водоприток 84-159 м³/час, в ливни до 560 м³/час). Все это снижает эксплуатационные возможности месторождения, и предпринимавшиеся после его разведки (1974-79 гг.) попытки ведения добычных работ натолкнулись на серьезные трудности. В частности, их проведение и в 1974-1979 гг., и в 1992-94 гг., обусловленное необходимостью добычи высококачественного горного хрусталя для плавки, показало неподтверждаемость содержаний и повышенную себестоимость добычи сырья (по сравнению с расчетными данными подсчета запасов). Одной из причин этого, наряду с вышеуказанными, является включение в подсчетные блоки маломощных, как правило – малопродуктивных жильных тел, с распространением на них усредненных показателей минерализации, а также низкая техническая вооруженность добывающего предприятия. С 1994 года какие-либо работы на горный хрусталь на месторождении не проводятся.

Учетных прогнозных ресурсов пьезооптического сырья на месторождении не выделено.

Тем не менее и месторождение Джаман-Акжар, и близрасположенные промышленные объекты (месторождения Речное, Мироновское), и отдельные хрусталепроявления Теренсайского узла могут привлекать внимание как возможные источники особо чистого плавочного сырья (в том числе – жильного кварца).

7.2. Приполярно-Уральская субпровинция

Субпровинция расположена на западном и восточном склонах Приполярного Урала и административно относится к Ханты-Мансийскому АО и к Республике Коми.

Хрусталсносная минерализация развита на площади 180х90 км, в основном приурочена к водораздельной части Уральского хребта и проявилась равноценно на всех гипсометрических уровнях данного района в интервале высот от 600 м до 1700 м.

В субпровинции, объединяющей Ляпинский район и узел Мань-Хамбо, известно около 170 месторождений и проявлений горного хрусталя. Однако значительная их часть относится к разряду очень мелких с количеством добытых моноблоков пьезокварца от нескольких до 50 кг. В настоящее время в районе разрабатываются три месторождения: Додо и Пуйва на восточном склоне Урала и Желанное на западном.

Изучение района начато в 1927 г. экспедицией АН СССР под руководством А.Н. Алешкова. По заявкам оленеводов он зафиксировал горный хрусталь на восточных склонах г. Неройка и в 1934 г. открыл месторождение Додо, являющееся первым на Приполярном Урале. В 1935-36 гг. была открыта группа месторождений: Пуйва, Омега-Шор, Ц.Паток, Альфа-Шор и Бета-Шор. С 1935 года поисковыми и добычными работами ведал Полярно-Уральская экспедиция Гостреста "Русские самоцветы" (в дальнейшем экспедиция № 105). Особенно интенсивные поиски и добыча ведутся в период Великой Отечественной войны под руководством А.Е. Карякина. До 1944 года наибольшее промышленное значение имеют месторождения Додо и Омега-Шор. Однако из-за отсутствия технических средств для освоения на глубину они были законсервированы, и центр работ перемещается к северу. Работы на юге района были возобновлены в 1953 г.

С 1956 года появилась возможность для ведения круглогодичных работ. В 1959 году начаты тематические и ревизионные работы, была составлена карта прогноза и оценки ресурсов Приполярного Урала. В 1961 г. В.А. Смирновой составлена геолого-структурная карта субпровинции в масштабе 1:200000.

В 60-е годы ведущим при поисковых работах на горный хрусталь был масштаб 1:25000. В дальнейшем возрастала доля работ более крупного масштаба. К концу 70-х годов были открыты практически все известные на сегодняшний день хрусталеносные объекты. В настоящее время балансовые запасы утверждены на восьми месторождениях субпровинции.

Додо, Желанное, Пуйва, Николай-Шор, Весеннее, Омега-Шор, Зейка, Свободное. Забалансовыми запасами обладают месторождения Пелингичей-3, Левобережное, Сев. Лапча, Центральная Народа. Ряд объектов являются комплексными, включающими, помимо пьезокварца и горного хрусталя для плавки, жильный кварц для плавки и кварц, используемый в качестве шихты при выращивании монокристаллов.

Геолого-структурная характеристика района

Особенностью Приполярного Урала является резкая смена простиранения уралит с меридионального на северо-восточное, сопровождаемое усложнением складчатости, интенсификацией процессов магматизма и относительным поднятием структурного узла в целом. Поднятие данного сегмента Уральской складчатой системы известно под названием Кожимского поперечного поднятия или Ляпинского антиклинория, локализуемого в основной части субпровинции (рис. 38.). В ядре антиклинория залегают породы байкальского каледонского комплекса, слагающие нижний структурный этаж и занимающие стратиграфический интервал от нижнего (?) – среднего протерозоя до кембрия включительно. В пределах комплекса выделяется семь свит: няртинская, имеющая нижне-среднепротерозойский возраст, щекуринская, пуйвинская, хобеинская (верхний протерозой) и верхнепротерозойско-кембрийские образования, представленные мороинской, маньинской и саблегорской свитами. Наиболее глубоко метаморфизованные породы няртинской свиты представлены кристаллическими сланцами, гнейсами, кварцитами и амфиболитами. Породы

частично фельдшпатизированы и мигматизированы. Шекуринская свита включает карбонатсодержащие сланцы, мраморы, кварциты и гнейсы. В пуйвинской свите преобладают кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые и зеленые сланцы, а также филлиты. Хобеинская сложена кварцитами, песчаниками и серицит-хлорит-кварцевыми сланцами. Маньинская и мороинская свита имеют пестрый литологический состав: кварциты, мраморы, доломиты, песчаники, апоглинистые и апоалевролитовые сланцы, зеленокаменные породы, кварцевые порфиры, туфы. Саблегорская свита сложена в основном вулканогенными породами.

Второй (герцинский) структурный этаж антиклинория занимает стратиграфический интервал от ордовика до перми. Герциниды обрамляют древнее ядро поднятия, а также залегают в его границах в локальных отрицательных структурах. В центральной и западной частях антиклинория разрез герцинид начинается кварцитами тельпосской свиты ордовикского возраста. На востоке байкальско-каледонский комплекс перекрыт, в основном тектонически, существенно терригенными ордовикскими отложениями саранхонерской, хамасынской и грубеинской свит. Вверх по разрезу вплоть до перми герциниды представлены преимущественно карбонатными породами с подчиненным количеством песчаников, алевролитов, глин, различных туфов и иногда эффузивных пород. Пермские отложения имеют терригенный состав, в средней части их разреза развиты угленосные толщи.

Ляпинский антиклинорий является относительно поднятым сегментом Центрально-Уральского поднятия — осевой структуры Уральского мегантиклинория, разделяющей его восточную эвгеосинклинальную и западную миогеосинклинальную зоны. Поднятый блок имеет протяженность около 200 км по простиранию уралид и достаточно ясно очерчен на С-В фланге структурным уступом С-3 простирания, вдоль которого происходит резкое (до 40°) погружение байкалид под палеозойский чехол. Погружение фундамента на южном фланге антиклинория более пологое и осложнено разрывно-складчатыми структурами С-3 простирания. Пологое перекрытие герцинидами фундамента фиксируется также в С-3 борту структуры, где отмечается большое количество эрозионных окон. В Ю-В борту структуры граница байкалид с герцинским эвгеосинклинальным комплексом резкая, надвигового типа. На байкалиды в ядре антиклинория наложены синклинали, выполненные в основном кварцитами тельпосской свиты. Синклинали группируются в пояса С-3 простирания, тяготеющие к флангам поднятия. Отмечается также достаточно ясно выраженный широтный пояс отрицательных структур, расположенный в средней части поднятия. Но наиболее важной из наложенных структур является Центральная зона тектономагматической активизации (ЦЗТМА), прослеживающаяся по простиранию уралид и делящая антиклинорий на две примерно равные части. ЦЗТМА выражена серией синклиналей, выполненных тельпосскими кварцитами, и характеризуется интенсивным магматизмом и динамометаморфизмом. К востоку от ЦЗТМА расположена Хобейская сланцево-гнейсовая купольная структура, в ядре которой широко развиты граниты и мигматиты. К западу от ЦЗТМА тектонический фон более спокойный и уровень метаморфизма относительно низкий.

Складчатая структура антиклинория определяется наличием, как минимум, двух этапов деформации — догерцинского и герцинского. В догерцинский этап, проявленный в породах фундамента, образовывались в основном складки субширотного и северо-западного простирания. В герцинский этап (время завершающей складчатости триас — нижняя юра) возникли складки меридионального, с переходом к северо-восточному, простирания. Наложены по отношению к генеральному плану герцинид являются северо-западные разрывно-складчатые деформации, возможно сдвигового характера. В герцинский этап активизировались также некоторые ранние субширотные структуры.

Основные тектонические подвижки герцинского этапа произошли вдоль ЦЗТМА. Здесь отмечается напряженная складчатость, сгущение разрывов и интенсивное развитие сланцево-

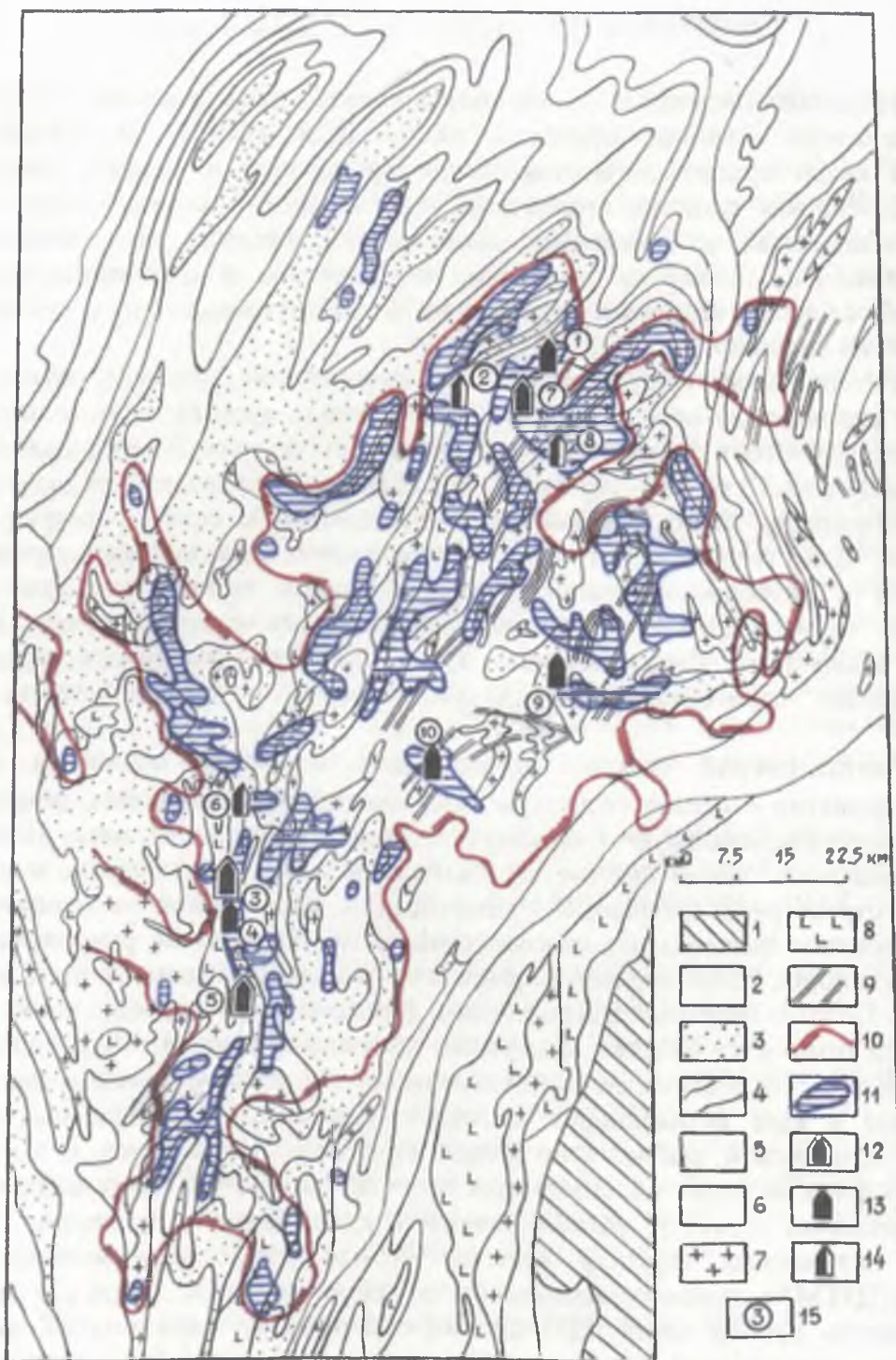


Рис. 38. Карта хрусталености Приполярно-Уральской субпровинции.
Составлена с использованием материалов Бурневской В.А. (1968г.),
Смирновой В.А. (1970г.), Цюцкого С.С. (1984г.)

1 – четвертичные отложения. 2-4 – *верхний структурный этаж*: 2 – средне-верхнепалеозойский комплекс преимущественно осадочных пород; 3 – кварциты нижнего ордовика в основании структурного этажа; 4 – литолого-стратиграфические границы. 5-6 – *нижний структурный этаж*: 5 – верхний структурный ярус (рифей-кембрий): диабазы, кварцевые порфиры, аповулканогенные сланцы, филлиты; 6 – нижний структурный ярус (средний протерозой): кристаллосланцы, филлиты, гнейсы, мигматиты, кварциты, мраморы. 7 – гранитоиды. 8 – базиты и гипербазиты. 9 – дайки и пластовые тела базитов и метабазитов. 10 – граница площадей развития кварцевых жил. 11 – хрусталеносные поля. 12-14 – месторождения горного хрусталя, специализированные: 12 – преимущественно на горный хрусталь для палавки; 13 – преимущественно на пьезокварцевое сырьё; 14 – равноценно на плавочное и пьезосырьё. 15 – нумерация месторождений: 1 – Пелингичей-3, 2 – Желанное. 3 – Додо, 4 – Зейка, 5 – Пуйва, 6 – Омега-Шор, 7 – Сев. Лапча, 8 – Николай-Шор, 9 – Свободное, 10 – Нижнее Маньхобею

тости и кливажа, согласных простиранию зоны и падающих в основном на запад и северо-запад.

Приполярно-Уральский сегмент Центрально-Уральского поднятия характеризуется максимальным проявлением интрузивного магматизма. Выделяются три группы интрузивов. Первая – это габбро-диорит-пироксенитовые и гранит-гранодиорит-диоритовые комплексы, относимые к рифей-кембрийскому времени. В этой группе гранитоиды являются наиболее молодыми. Ко второй группе относятся базит-гипербазит-гранитоидные пояса, относимые к палеозойским офиолитам восточного склона. Третья группа включает малые интрузии и дайки пёстрого состава (диабазы, амфиболиты, кварцевые порфиры, лейкограниты, гранит-аплиты), а также крупные пластовые межформационные залежи диабазов и кварцевых порфиров, особенно широко развитые на севере и северо-западе района, где они маркируют границу структурных этажей. Малые тела и дайки образуют три относительно обособленных пояса. Первый пояс, представленный преимущественно амфиболитами, протягивается вдоль оси Хобеизской купольной структуры. Второй, в котором помимо диабазов существенную роль играют гранитоиды, следует вдоль ЦЗТМА. Третий – залегает вдоль западного борта антиклинория. Здесь помимо даек существенное значение имеют межформационные пластовые диабазы и кварцевые порфиры.

Малые интрузии являются разновозрастными образованиями. Часть из них возможно комагматична интрузивным комплексам первой группы. Часть, и это относится в первую очередь к телам западного пояса, имеют более молодой, герцинский возраст.

7.2.1. Особенности хрусталеносности Ляпинского района

Область развития хрусталеносной минерализации Приполярного Урала соответствует выходу древнего докембрийского ядра Ляпинского антиклинория, а также распространяется на обрамляющие его с севера и запада палеозойские образования. В пределах района хрусталепроявления обнаружены во всех магматических и метаморфизованных осадочных породах, что указывает на их относительную молодость. В морфологическом отношении выделяются три типа хрустальной минерализации: в полостях, связанных с кварцевыми жилами; в минерализованных трещинах (нарастание кристаллов на стенках открытых трещин); разрозненные кристаллы горного хрусталя в метасоматически изменённых, часто брекчированных породах. Выделенные морфологические типы в генетическом отношении являются едиными и, как правило, встречаются совместно, при явном преобладании первого типа. За ним по значимости следует второй. Третий – относительно редок и самостоятельно промышленного значения не имеет.

Хрусталеобразование связывается с поздней гидротермальной деятельностью, широко проявившейся в пределах данного района и практически стерильной в отношении рудной минерализации. Учитывая соображение сохранности полостей в условиях тектогенеза, нижний возраст хрусталеобразования определяется как позднегерцинский, соответствующий времени затухания складчатости в осевой части Уральского мегантиклинория.

Наблюдаемая связь горного хрусталя с кварцевыми жилами имеет односторонний характер, т.к. имеется достаточное количество нехрусталеносных кварцево-жильных полей. Они располагаются в основном на периферии субпровинции.

Тесная пространственная ассоциация кварцевых жил и хрусталеносных полостей в генетическом отношении не является одновариантной и позволяет выделить, по крайней мере, три типа образований. Первый – включает интенсивно деформированные кварцевые жилы, содержащие наложенные, обычно, мелкие полости. Хрусталеобразование в этом

случае не является генетическим продолжением стадии образования кварцевой жилы, т.к. во времени эти процессы разорваны этапом деформаций.

Второй тип включает наложенные полости, залегающие в недеформированных или слабо деформированных кварцевых жилах, секущих метаморфические структуры герцинит. Формирование хрусталеносных полостей может рассматриваться, с одной стороны, в качестве завершающей стадии процесса образования кварцевой жилы, а с другой – может быть отнесено к более позднему, независимому гидротермальному этапу.

Третий тип взаимоотношений хрусталеносных полостей с кварцевыми жилами встречается сравнительно редко. Полости этого типа завершают процесс образования кварцевой жилы, залегают в её осевой части и являются полостями недовыполнения.

Кварцевые жилы Приполярного Урала преимущественно однополостные.

По данным В.А. Бурневской (1968г.) до 1969г. только на восточном склоне Приполярного Урала обнаружено 2270 кварцевых жил. Из них 950 содержали горный хрусталь. Число объектов с кондиционным кристаллосырьём составило 293 (12,9%). Из них было добыто 3426 кг пьезокварца. Средний выход моноблоков составил 8,4%. Минимальный выход равнялся 0,6%, максимальный – 22% (месторождение Хальмер-Ю).

Наиболее общие закономерности строения хрусталеносных полостей сформулированы А.Е. Карякиным (1953г.). Они сводятся к следующему:

- Основная масса кристаллов сосредоточена не на стенках полостей, а в гнездовом выполнении.

- Кристаллы попадают внутрь гнезда, отрываясь от стенок.

- Нарастание кристаллов на стенках происходит многократно. Только в этом случае можно объяснить их большое количество внутри гнезда, несоизмеримое с площадью ограничивающей его поверхности.

- Хорошо оформленные кристаллы располагаются в верхних слоях гнездового выполнения. В нижних слоях накапливаются индивиды раннего генезиса весьма несовершенной формы.

- Размер кристаллов определяется размерами затравок в стенках полости. Наиболее крупные вырастают в гнездах, окруженных гигантозернистым околоснездовым кварцем.

Незаполненное кристаллами кварца пространство гнезда бывает частично или полностью выполнено хлоритовым, реже серицитовым песком, а также каолинитом, бурожелтым глинистым материалом, гидроокислами железа, обломками жильного кварца и измененных боковых пород.

Набор второстепенных минералов, нарастающих на стенках гнезд, а также встречающихся в гнездовом выполнении, в основном определяется вмещающими породами. По данным В.А. Смирновой (1956г.) гнездовая минерализация представлена:

- в диоритах и диабазах – актинолит, железистый эпидот, хлорит, рутил, лейкоксен, ильменит, альбит, цоизит, кальцит, серицит;

- в известняках – кальцит, анкерит, шеслит. Другие минералы присутствуют в резко подчиненном количестве;

- в кварцитах – кварцевый песок, серицит, рутил, турмалин. Если имеются дайки диабазов, появляется хлорит;

- в сланцах – много хлорита, на втором месте серицит.

Околоснездовые метасоматиты делятся на два типа с противоположной направленностью: с привнесом и выносом кремнезёма. Преобладает второй тип. Он сопровождается интенсивным выщелачиванием пород с образованием пористо-кавернозных структур. На фоне выщелачивания развивается собирательная перекристаллизация с образованием мелких, хорошо оформленных минеральных индивидов. Характерно увеличение зернистости метасоматитов по направлению от внешних зон к внутренним. Минеральные новообразования представлены серицитом, мусковитом, альбитом, хлоритом.

эпидотом, карбонатом. Во внешних зонах всегда (кроме кварцитов) проявляется карбонатизация, во внутренних — ослюденение (за исключением метабазитов). В непосредственной близости от гнезд, особенно со стороны их лежачего бока, появляются, и иногда в значительных количествах, циркон, монацит, турмалин, ксенотим.

Метасоматиты, сопровождаемые привнесом кремнезёма, формируются около небольших полостей и соответственно имеют незначительные мощности. В основных породах при этом проявляется альбитизация, окварцевание, иногда хлоритизация. В кислых доминирует окварцевание. Совместно с кремнезёмом привносится Al , Na , Ti , Fe^{3+} и происходит вынос Ca , Mg , Fe^{2+} и иногда K .

По совокупности типоморфных признаков разновозрастных кварцевых кристаллов хрусталеносная минерализация рядом исследователей расчленяется на несколько стадий с общей тенденцией повышения щелочности растворов на ранних и средних стадиях развития. На последней стадии происходило некоторое её снижение. Наиболее качественные кристаллы горного хрусталя продуцировались на стадиях со щелочным характером растворов. С повышением кислотности становилась возможной более высокая степень пересыщения растворов кремнезёмом, вследствие чего вырастали структурно менее совершенные кристаллы.

Поскольку кислотно-щелочные свойства растворов меняются не только во времени, но зависят также от вмещающих пород, на конкретных месторождениях генеральная схема эволюции процесса часто нарушается. В результате в различных полостях синхронно образуются различающиеся по свойствам кристаллы кварца.

При анализе пространственного размещения хрусталеносной минерализации и её связи с основными эндогенными процессами региона намечается ряд факторов, контролирующих её развитие. Первой в этом ряду надо отметить роль структурной поверхности, разделяющей герциниды и байкало-каледонский фундамент. Проявления и месторождения концентрируются вдоль этой поверхности, располагаясь по обе стороны от неё. Таким образом, граница структурных этажей может рассматриваться в качестве регионального экрана, хотя, в строгом смысле этого понятия, это не совсем так. Действие экрана предполагает подпруживание гидротермальных потоков, но в данном случае структурная поверхность выступает скорее в роли их коллектора, так как хрусталеносность формируется по обе её стороны. В силу действия указанного фактора минерализация концентрируется вдоль обрамления древнего ядра и в локальных отрицательных структурах, наложенных на него и выполненных герцинидами.

Следующим рудоконтролирующим фактором является магматический. Положение субпровинции совпадает с максимумом проявления магматизма в пределах всего Центрально-Уральского поднятия, поэтому хрусталеносная минерализация рассматривалась в качестве производной постмагматической деятельности гранитоидов района. В настоящее время представления о возрасте гранитоидов сместились в сторону его значительного "удревления", что повлекло изменение представлений о характере связи минерализации с магматизмом. Появилась тенденция к рассмотрению этой связи в опосредованном виде, т.е. на Приполярном Урале существовали длительно действующие глубинные магматические очаги, которые в позднегерцинское время стимулировали (в основном энергетически), гидротермальные процессы в верхних горизонтах коры.

Распределение кварц-хрусталеносных полей в пределах субпровинции определяется рядом факторов второго порядка. В основе структурной организации субпровинции лежат кварц-хрусталеносные пояса — линейные зоны протяженностью от 20 до 160 км, объединяющие отдельные жильные поля. Пояса сопряжены с отрицательными структурами северо-западного и широтного простирания, фиксируемыми выходами герцинид (в основном ордовикских кварцитов). Эти структуры хорошо фиксируются в геофизических полях и определяются как зоны долгоживущих поперечных разломов.

Однако основной пояс, своего рода ось субпровинции, приурочен к ЦЗТМА. При длине 160 км и ширине 15-20 км, он обладает достаточно сложной внутренней структурой, особенно в северной части, где пересекается с более мелкими северо-западными и широтными поясами. Узлы пересечения, как правило, являются наиболее продуктивными участками.

Наиболее многочисленна группа локальных факторов, контролирующих положение конкретных объектов; хрусталеносных зон, жил, минерализованных трещин. Здесь в первую очередь необходимо отметить фактор "контрастности разреза". Минерализация крайне ограничено развита в монотонных толщах и тяготеет к разрезам, насыщенным компетентными породами. Обычно это дайки и пластовые тела метабазитов, кварцевых порфиров и других гранитоидов, пласты кварцитов. Важную роль играют зоны рассланцевания. Наиболее благоприятной средой являются толщи, обладающие линзовидно-блоковой структурой. Хрусталеносные жилы тяготеют к периферии блоков, которые рассматриваются в качестве "целиков" пород, сохранившихся при их динамометаморфизме. По В.А. Смирновой (1969г.) рассланцевание является ведущим в ряду жиллокализирующих факторов.

При рассмотрении рудоконтролирующих факторов нельзя не отметить особой роли кварцитов в развитии кварц-хрусталеносной минерализации Приполярного Урала. Эти породы развиты настолько широко, что можно говорить о кварцитовой специализации в седиментогенезе региона, проявившейся в интервале от среднего протерозоя до нижнего палеозоя включительно. Кварциты выделяются в составе большинства протерозойских свит, они же преобладают в основании разреза герцинид. Известно, что во многих хрусталеносных провинциях мира минерализация связана с высококремнистыми породами, поэтому случайность связи с горным хрусталем приполярноуральских кварцитов маловероятна. Если эта связь прямая, то кварциты надо рассматривать в качестве регионального фактора, контролирующего границы минерализации. Это подтверждается в частности отсутствием горного хрусталя и резким снижением количества кварцевых жил в восточном борту Ляпинского антиклинория, где кварциты в разрезе герцинид отсутствуют.

Влияние кварцитов могло проявиться в создании высокого фонового содержания кремнезема в гидротермальных флюидах. Вполне вероятно также наличие у этих пород особых коллекторских свойств. Известно, что при снижении температуры объемное сокращение кварца в 1,5-4 раза превышает сокращение объема других породообразующих минералов. Это неизбежно должно привести к более высокой трещиноватости таких пород как кварциты и появлению у них коллекторских свойств. Таким образом толща ордовикских кварцитов, лежащая выше поверхности раздела структурных этажей вполне могла сыграть роль регионального коллектора гидротермальных потоков.

Учитывая это, можно скорректировать приведенную выше позицию, касающуюся региональной рудоконтролирующей роли границы структурных этажей. Основную рудоконтролирующую функцию в данном случае вполне могла выполнить залегающая непосредственно над границей выдержанная толща кварцитов тельпосской свиты, хотя роль собственно поверхности раздела полностью исключать нельзя, особенно на севере субпровинции.

Ниже приводится подробное описание трех месторождений Приполярноуральской субпровинции (Додо, Желанное, Пелингичей), представляющих три основные типа минералообразования. На примере месторождения Додо характеризуется хрусталеобразование в условиях сланцевых толщ. Желанное – представляет месторождения, залегающие в кварцитах, Пелингичей – в карбонатных породах.

7.2.2. Месторождение Пелингичей-III

Геолого-структурное положение

Месторождение Пелингичей-III принадлежит Пелингичейскому хрусталеносному полю, расположенному на севере субпровинции и занимающему площадь 20 км². Хрусталеносное поле лежит в области развития рифейских образований, представленных пуйвинской, хобеинской и маньинской свитами. Все три свиты имеют терригенный состав. При этом пуйвинская сложена сланцами; хобеинская – преимущественно кварцитами и кварцито-сланцами с отдельными линзами мраморов; маньинская – сланцами и известковистыми сланцами с прослоями кварцитов и мраморов. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации.

С северо-запада к хрусталеносному полю примыкают палеозойские образования, представленные тель-посской свитой ордовикского возраста и сложенные кварцитами, мелкогалечными конгломератами и кварцито-сланцами.

Основание тель-посской свиты под-верглось интенсивному рассланцеванию с усилением последнего вниз по разрезу, по мере приближения к границе структурных этажей.

В восточном борту поля залегают плагиограниты и кварцевые диориты Окшияншорского гранитоидного массива. Массив вытянут в С-В направлении (рис. 39) на 10 км, имеет ширину 1-3 км и осложнен апофизами С-З простирания, подчеркивающими догерцинский структурный план района. В эндоконтактах гранитоиды интенсивно рассланцованы в зонах мощностью до 120 м. Метаморфизм рассланцованных гранитоидов соответствует зеленосланцевой фации. Экзоконтактные изменения проявились в биотитизации и окварцевании кристаллических сланцев, скарнировании карбонатных пород. В результате контактного метаморфизма мраморизованных известняков и доломитов, возникли разнообразные минеральные ассоциации, представленные как известковистыми, так и магнезиальными скарнами. Вблизи гранитоидов скарны образуются также вдоль контактов мраморов и кварц-сланцевых сланцев. При скарнировании иногда возникают зоны метасоматических кварцитов.

Жильная фация Окшияншорского массива включает жилы плагиоаплитов и дайки плагиогранит-порфиров и порфировидных гранитов. Достаточно широко развиты дайки и малые тела основных пород догранитного возраста, хотя последнее нельзя считать строго установленным.

В структурном отношении хрусталеносное поле приурочено к ядру Пелингичейской антиклинали – герцинской структуры, расположенной на северном замыкании Ляпинского антиклинория. Ядро антиклинали сложено рифейскими породами нижнего структурного этажа и имеет догерцинский северо-западный структурный план.

Рифей перекрывается тельпосскими кварцитами, сохранившимися от эрозии в крыльях антиклинали. Вдоль контакта рифеид и герцинид широко развиты псевдоконгломераты – тектониты, сложенные окатанным мелким кварцитовым или карбонатным материалом, заключённым в сланцеватую массу. Наличие тектонитов говорит о латеральных подвижках вдоль границы структурных этажей в процессе герцинского тектогенеза.

Хрусталеносное поле не выходит за пределы рифейских образований. Общий С-З структурный план рифеид выражен наличием крупных линейных складок и зон разлинзования С-З ориентировки. Зоны разлинзования тяготеют к участкам, сложенным породами, разнородными по физико-механическим свойствам (сланцы, мраморы, кварциты, плагиограниты). Более жесткие блоки разлинзовываются, а линзы облекаются относительно мягкими породами, роль которых чаще всего играют сланцы, превращённые в бластомилониты. Бластомилониты, как правило, метасоматически изменены и имеют чаще всего кварц-глинисто-карбонатный состав.

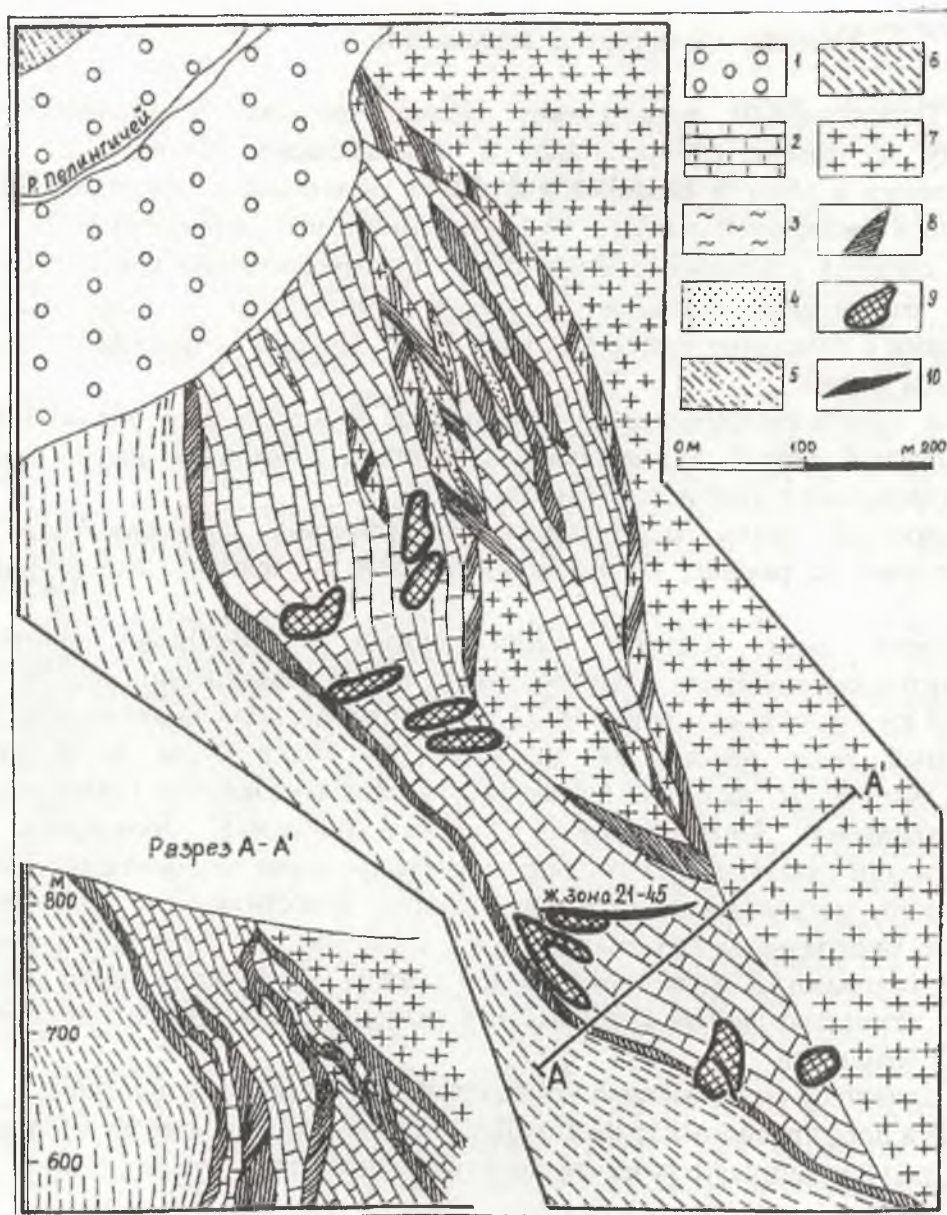


Рис. 39. Геологическая карта месторождения Пелингичей-III (по С.С. Цюцкому и др.)

1 — четвертичные отложения. 2 — мрамора. 3 — серпентинизированные мрамора. 4 — кварциты. 5 — слюдисто-кварцевые сланцы. 6 — кварцево-сланцевые сланцы. 7 — гранодиориты. 8 — рассланцованные породы. 9 — кварцево-жильные зоны. 10 — крупные кварцевые жилы

Зоны линзовидно-блокового строения характерны также для экзо-и эндоконтакта Ошкяншорской интрузии, имеющейся здесь преимущественно субмеридиональное простирание.

Северо-западные линзовидно-блоковые зоны являются основными коллекторами кварцевых жил. Жилы обычно имеют поперечное к положению вмещающей линзы простирание и рассматриваются в качестве оперения бластомилонитовых швов, разделяющих линзовидные блоки. Характерны также штокверковые жильные системы, а также жилы в трещинах отслоения, возникавших вдоль границы блоков.

Возраст линзовидно-

блоковых структур проблематичен. А.И. Бочкарёв (1967г.) считает их герцинскими, унаследовавшими догерцинский структурный план. Существует также точка зрения, объясняющая северо-западное простирание рифейских пород залеганием их в области периклинального замыкания Пелингичейской антиклинали. Однако это мнение базируется на представлениях, исключающих наличие углового несогласия между рифеидами и ордовикскими кварцитами, что опровергается данными геологического картирования.

Дизъюнктивная тектоника проявилась в наличии разломов северо-восточного, северо-западного и субмеридионального простирания. По некоторым из них происходит смещение контактов свит на 0,5 км в плане. Тем не менее, в качестве жилонтролирующих структур разломы менее эффективны и значительно уступают линзовидно-блоковым зонам.

Месторождение Пелингицей-III является наиболее продуктивным участком хрусталеносного поля, включающего ещё ряд объектов: Карбонатное, Пограничное, Левобережное и Окшияншорское. Все хрусталеносные объекты заключены в крупных линзах кальцит-доломитовых мраморов, входящих в состав известково-сланцевой толщи маньинской свиты. Пелингицей-III находится в С-В части жильного поля и залегает в линзе мраморов С-3 простираения, имеющей размеры 0,3х1,0 км. С северо-востока линза ограничена плагиогранитами, с юго-запада сланцами маньинской и хобеинской свит. Строение линзовидного блока мраморов сложное и включает серию более мелких линз плагиогранитов, кварцитов и кварц-серицитовых сланцев. Мощность тектонитов в контактах блока достигает первых десятков метров. Общее падение линзовидно-блоковой структуры на С-В под углом 60-70° (рис. 40.).

Кварцево-жильная минерализация

На месторождении выделено 2 типа кварцевых тел: жилы и прожилковые зоны. Жилы в свою очередь делятся на поперечные, залегающие в трещинах, оперяющих зоны рассланцевания в бортах блоков, и продольные, выполняющие трещины отслаивания, возникающие в этих же зонах. Наиболее развитая форма поперечных жил — клиновидная, при этом расширение клина происходит по направлению к зоне рассланцевания. Вглубь линзы мраморов жила постепенно выклинивается. Поперечные жилы локализируются исключительно в мраморах. Размеры их по простиранию колеблются в пределах 5-120 м, по падению 1-25 м, по мощности 0,2-2,5 м. Простирание северо-восточное или субширотное, падение юго-восточное.

Продольные жилы в полостях отслаивания тяготеют к контактными поверхностям. Для них характерно присутствие тектонических брекчий в бортах жил. Обычно они имеют северо-восточное падение под углом 40-60° и северо-западное склонение. Размеры продольных жил по простиранию колеблются в пределах 0,5-25 м, по падению — от 0,5 до 20 м и по мощности — от 0,1 до 5 м. Прожилковые зоны образованы мелкими жилами мощностью 0,1-0,2 м, длиной до 0,5 м. Преобладает простирание 30-50° и падение 45-80° на юго-восток. Размеры зон по простиранию 5-90 м, по падению 2-100 м, по мощности 0,5-30 м. В плане прожилковые зоны, так же как поперечные жилы, стремятся к форме клина, обращённого острым концом вглубь линзы мраморов. В приконтактной зоне мраморов прожилковая минерализация резко затухает.

Выделение различных типов кварцево-жильной минерализации в известной степени условно, т.к. встречаются комбинированные формы, представленные сочетанием прожилковой минерализации и поперечных кварцевых жил.

Кварцевые жилы являются мономинеральными образованиями, сложенными мелко-средне-и крупнозернистым молочно-белым, реже полупрозрачным кварцем. Наблюдается зональное распределение типов кварца. В большинстве случаев зональность возникает в результате поздней гидротермальной деятельности хрусталеносного этана. Первичная зональность жил отмечается в некоторых телах и выражается в симметричном увеличении зернистости кварца от бортов жилы к центру вплоть до образования друзовых агрегатов в осевой зоне. Жильный кварц частично катаклазирован с перекристаллизацией в более мелкозернистый агрегат. Выделяются несколько степеней деформации кварца, отличающихся характером его погасания: слабо катаклазированный с волнистым погасанием, умеренно катаклазированный с лоскутным и линзовидно-полосчатым погасанием, сильно катаклазированный с мозаично-блоковым погасанием.

Температура образования жильного кварца по данным гомогенизации включений и декрептофонического анализа колеблется в интервале 350-600°.

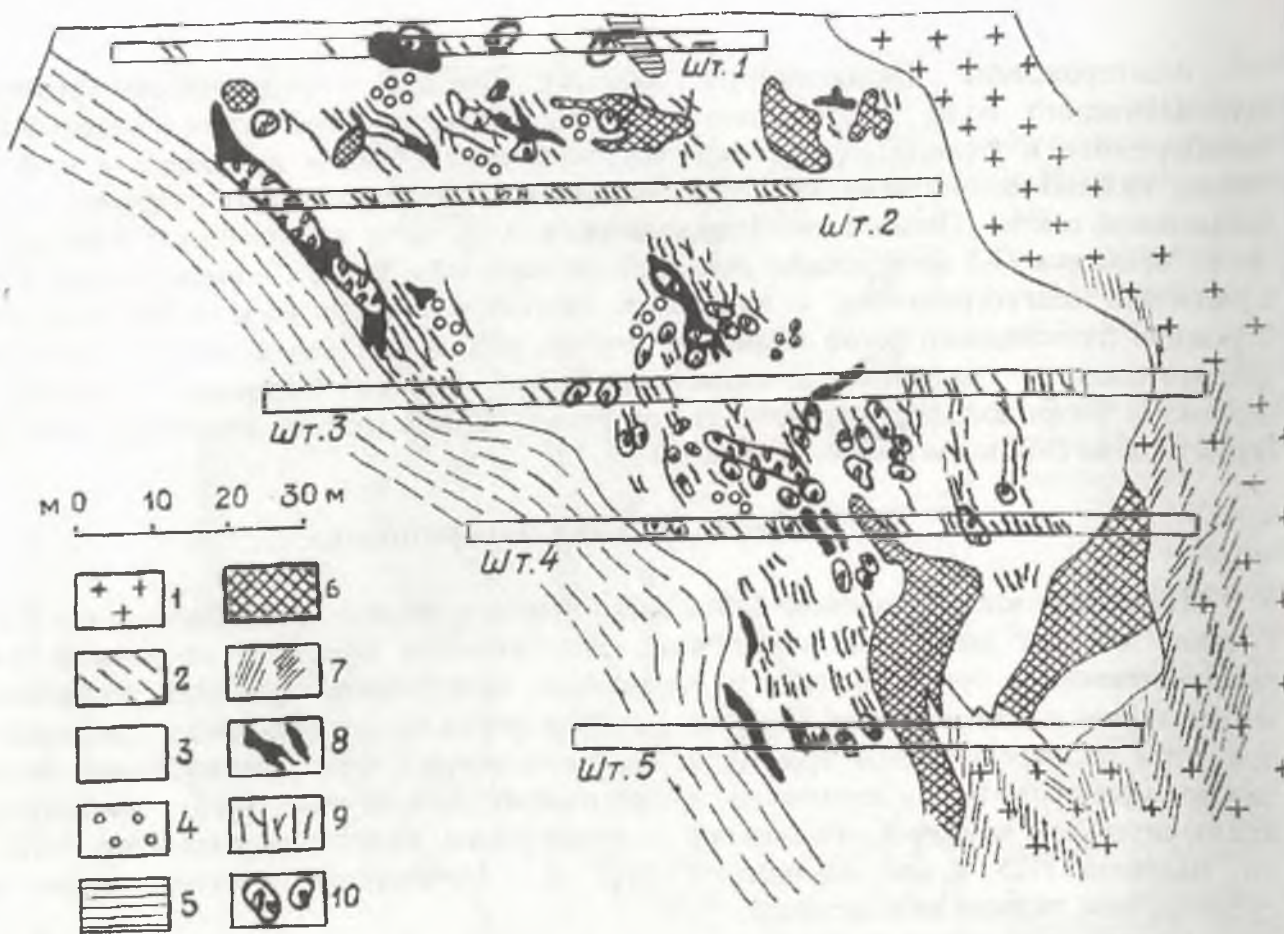


Рис. 40. Месторождение Пелингичей - III. Продольный разрез минерализованной зоны 21-4 (по С.С. Цюцкому и др. 1984г.)

1 – гранодиориты. 2 – кварцево-сланцевые сланцы. 3 – мраморы. 4 – перекристаллизованные мраморы. 5 – оталькованные мраморы. 6 – кварц-флогопитовые породы. 7 – рассланцованные породы. 8 – кварцевые жилы. 9 – кварцевые прожилки. 10 – хрусталеносные гнезда

Во многих кварцевых телах месторождения наблюдаются "висячие" блоки вмещающие мраморов. Иногда жилы по сути представляют собой брекчиевые образования, при этом первичная ориентировка обломков, как правило, сохраняется. Существует мнение о образовании жил за счёт замещения мраморов. В качестве доказательства приводится "ненарушенное" залегание обломков мраморов в брекчиях и интенсивные процессы изменения, приводящие к раздоломчиванию мраморов и их окварцеванию. При окварцевании количество кремнекислоты в мраморах увеличивается в 8 раз и достигает 32%. Мощность зон изменения зависит от размера жил и достигает 1,5 м, будучи более значительной в лежащем борту.

Хрусталеносная минерализация

На месторождении выделяются три типа хрусталеносных полостей: гнёзда непосредственно связанные с кварцевыми жилами, минерализованные трещины и гнёзда смешанного типа.

Полости первого типа развиты на месторождении достаточно широко и дают около 30% добычи пьезокварца. Они отмечаются во всех структурных типах кварцево-жильных тел: поперечных и продольных жилах, прожилковых зонах. В жилах они имеют, как правило, линзовидную форму, тяготеют к их выклиниваниям и как бы дополняют собой контур кварцевого тела. Размеры их достигают нескольких м³. В прожилковых зонах гнёзда слож-

ные, с многочисленными карманами; размеры их достигают нескольких десятков кубометров. Для полостей первого типа характерна оторочка полупрозрачного гигантозернистого кварца (окологнездовый кварц), возникшего за счет перекристаллизации более мелкозернистого и менее прозрачного первичного жильного кварца. Иногда поздний кварц замещает ранний практически полностью. Кристаллы горного хрусталя нарастают или на поздний кварц, или непосредственно на стенки, сложенные вмещающими породами.

Минерализованные трещины приурочены к полостям отслаивания, имеющимся на извилистой поверхности контакта мраморов со сланцами и плагиогранитами. Форма гнёзд щелевидная или линзовидная, объём не превышает $1,5 \text{ м}^3$. Кристаллы нарастают непосредственно на боковые породы или на гигантозернистый поздний кварц. Ранний мелкозернистый кварц почти всегда отсутствует. Практическое значение минерализованных трещин невелико, т.к. на месторождении их мало.

Смешанный тип гнёзд наиболее распространён. Он даёт около 70% добычи пьезокварца. Гнезда этого типа залегают в поперечных кварцевых жилах, при их выклинивании на выходе из мраморов. Жила как бы продолжается полостью в контактирующие с мраморами кварцсодержащие породы. Выделение этого типа в известной мере условно, так как полость, выходящая за пределы мраморов, не обязательно должна быть минерализованной трещиной. Это может быть и фланг жилы, полностью переработанный в хрусталеносную стадию, с полным замещением первичного жильного кварца продуктивной полостью и поздним гигантозернистым кварцем. Форма гнёзд третьего типа различна, от простой линзовидной до сложной кавернозной. Объём достигает нескольких десятков м^3 .

Важной закономерностью в распределении хрусталеносных гнёзд является приуроченность большинства из них к контактовой зоне продуктивной линзы мраморов. Отмечается также нарастание хрусталеносности на выклинивании линзы по падению и простиранию, где как правило усиливается расщелачивание, и мелкие тектонические зоны проникают внутрь мраморов.

Хрусталеносные гнёзда являются полиминеральными образованиями и содержат в сумме порядка 50-ти минералов, среди которых известны силикаты, карбонаты, сульфиды, окислы и гидроокислы, вольфраматы, фосфаты, сульфаты и золото.

Большинство кристаллов кварца имеют гексагональный габитус, В подчинённом количестве отмечаются индивиды тригонального габитуса, изредка — обелисковидные и пластинчатые. Максимальный размер — до 1 м по длинной оси, при весе 200 кг. В основном же размеры кристаллов колеблются в пределах 6-30 см по длинной оси, при этом преобладающим является среднестолбчатый облик с отношением $L_3:L_2=3:1$. Среднестолбчатые кристаллы составляют 60% от добытого сырья. Отмечена прямая зависимость размеров кристаллов от объёма вмещающих гнёзд.

Процессы растворения развиты слабо и проявляются прежде всего в появлении матовой поверхности на гранях. При обрастании горного хрусталя кальцитом в первом обычно наблюдается растворение рёбер.

Горный хрусталь месторождения Пелингичей обычно бесцветен, но иногда встречаются дымчатые разности. По данным В.Ю. Эшкина (1961г) дымчатая окраска связана с повышенным содержанием алюминия и кальция, В то же время А.И. Бочкарёв (1967г), опираясь на более широкие аналитические данные, указывает на резкое (в 70 раз) повышение содержания марганца, а также железа в дымчатых разностях,

Основным типом двойников является дофинеийский. Характерным для месторождения является насыщенность дофинеийскими двойниками оснований кристаллов с сохранением крупных монообластей в их центре и вершинной части. Бразильские двойники встречаются редко и поражают лишь внешний слой кристаллов глубиной до 4 мм. Находки японских двойников единичны.

Относительно слабое развитие двойников является не единственным положительным качеством пелингичейского кристаллосырья. Здесь же следует отметить крайне редкую встречаемость свилеватости, приуроченной, как правило, к основанию кристаллов, а также чистоту кристаллов в отношении минеральных примесей. Последние представлены в основном игольчатым рутилом.

Перечисленные положительные свойства кристаллов выводят кристаллосырьё месторождения Пелингичей-Ш в разряд лучшего по Приполярно-Уральской субпровинции. Аналогичными качествами обладают кристаллы Пелингичейского хрусталеносного поля в целом. Учитывая, что это единственное поле на Приполярном Урале, где вмещающими для хрусталеносных жил являются карбонатные породы, наличие последних скорее всего явилось решающим фактором, обеспечившим генезис особенно чистого кристаллосырья.

Таблица 7.6.

Сортность кварцевого сырья месторождений Приполярного Урала
(по Ю.А. Долбнину, 1962г., Л.С.Скобелю, 1997г.)

Месторож- дение	Тип сырья	Выход сортового сырья, %						
		Всего	Экстра	Выс- ший (уник.)	Is	Is	IIIc	IVc
Пелингичей	Пьезокварц	4,6	0,32	2,07	1,20	0,51	0,05	0,45
	Горный хрусталь для плавки	15,5	-	-	-	-	-	-
Додо	Пьезокварц	0,027	-	-	-	-	-	-
	Горный хрусталь для плавки	53,8	-	-	10,1	15,0	28,7	-
	Прозрачный жильный кварц	56,8	-	До 3,8	1,0	15,9	34,5	5,5
Желанное	Пьезокварц	0,26	-	0,125	0,089	0,046	-	-
	Горный хрусталь для плавки	25,3	-	-	6,3	7,6	11,4	-
	Прозрачный жильный кварц	До 74,1	-	До 0,7	До 1,3	2,6- 17,1	40,7- 55,0	-

Таблица 7.7.

Основные технико-экономические характеристики месторождений
Приполярного Урала

Наименование показателей	Ед. изме- рения	Данные по месторождениям		
		Пелингичей (Долбнин Ю.А., 1962г.)	Додо (Скобель Л.С., 1990г.)	Желанное (Пожидаев Н.А., 1988г.)
Запасы полезного ископаемого:				
горный хрусталь для плавки	т	-	594,3	930,7
пьезокварц	т	-	2,0	5,4
Глубина подсчёта запасов	м	125	130	150
Минимальная мощность продуктивных жил	м	0,5	0,5	1,0-2,0
Содержание кристаллосырья (на продуктивную породу)	кг/м ³	3,39	43,5-71,3	281,0-347,0
Выход из кристаллосырья:	%			
пьезокварц (мнбл)		4,6	0,027	0,26

горный хрусталь для плавки		15,5-37,2	55,2(до 64,9)	29,9
Предельный коэффициент вскрыши (для открытых работ)	м ³ /м ³	-	5,6	16,6
Водоприток	м ³ /час	отсутствует	до 70,0	до 66,0
Установленная глубина развития жильных тел	м	до 138	более 350	до 250

Перспективы месторождения

Месторождение специализировано преимущественно на пьезокварцевое сырье. Горный хрусталь для плавки имеет незначительные запасы, к тому же является низкосортным из-за загрязнения *Ti*, *Mg*, *Ca*, *Al*. Жильный кварц вследствие высокого содержания *Al* в качестве плавочного сырья непригоден.

Узкая специализация месторождения, при наблюдающемся в последние десятилетия спаде конъюнктуры на природный пьезокварц, предопределили его консервацию, хотя по запасам и качеству пьезосырья оно является ведущим на Приполярном Урале. Последнее в перспективе может сыграть положительную роль, в случае возрождения интереса к пьезосырию в связи с производством пьезоизделий нового поколения.

7.2.3. Месторождение Додо

Геолого-структурное положение

Месторождение Додо – один из крупнейших хрусталеносных объектов субпровинции, входящий в состав Неройского кварцево-жильного узла, расположенного в южной части зоны тектономагматической активизации Приполярного Урала. Вмещающими являются породы пуйвинской свиты рифейского возраста, разделенные на три толщи: верхнюю и нижнюю сланцевые и перекрывающую их кварцито-сланцевую. Месторождение залегает между двумя гранитоидными интрузивами: Неройским, лежащим к западу и Сальнерским – к востоку. Близость интрузивов определила высокую концентрацию даек и малых тел к востоку. Возраст магматитов устанавливается на основе их взаимоотношения с поздней герцинской складчатостью, в соответствии с чем выделяются герцинские и догерцинские интрузивные тела. Догерцинские породы характеризуются высокой степенью догерцинские интрузивные тела. Догерцинские породы характеризуются высокой степенью динамометаморфизма. К их числу относятся штоко- и дайкоподобные тела гранитоидов, а также рассланцованные и хлоритизированные метадиабазы. Герцинская возрастная группа более обширная. Она представлена фельзит-порфирами, альбитофирами и кварцевыми порфирами. Перечисленные породы отвечают по составу несколько обогащенным натрием нормальным гранитам. В эту же возрастную группу входят дайки (аббро-диабазов, порфировидных диабазов и маломощные, но многочисленные дайки хлоритовых и хлорит-биотитовых метадиабазов. Герцинские породы в той или иной степени динамометаморфизованы, что в общем-то указывает на условность возрастного расчленения магматических пород.

Тектоника месторождения в значительной мере определяется его положением между двумя крупными интрузивами, в процессе складчатости игравшими роль жестких массивов. Уровень тектонизации сланцев пуйвинской свиты, зажатых между интрузивами, нарастает с приближением к контактам массивов. Эта полоса сланцев слагает Пуйвинскую синклинальную структуру, которая в районе месторождения осложняется Додовинской антиклиналью. Последняя смещена к западному крылу синклинали, имеет ширину около 1,5 км и ограничена с востока Неройской тектонической зоной. Все перечисленные структу-

ры простираются меридионально и осложнены зонами кливажа и расщепления, также имеющими генеральное меридиональное простирание с устойчивым падением на запад. Упорядоченность герцинского структурного плана нарушается наличием более древних складок субширотного простирания.

Месторождение тяготеет к осевой части Додовинской антиклинали, характеризующейся максимальной насыщенностью дайковыми телами. Восточный фланг месторождения ограничен Восточной тектонической зоной С-СВ простирания, имеющей мощность около 100 м. Западный фланг четкого структурного ограничения не имеет. Полоса развития кварцевых жил достигает ширины 0,7-1 км и вытянута меридионально на 4 км (рис. 41.).

Месторождение обладает достаточно сложной складчатой структурой, обусловленной с одной стороны наличием двух разновозрастных ортогональных пликтивных систем, а с другой – насыщенностью дайковыми и малыми интрузивными телами, создававшими в процессе складчатости локальные структурные усложнения. Осевые плоскости складок в большинстве случаев параллельны сланцеватости, шарниры – линейной ориентировке минеральных агрегатов. Последняя, а соответственно и шарниры, преобладающе имеет крутое (50° - 60°) падение в западные румбы.

Заключенные в сланцах дайки и малые интрузивные тела в процессе складчатости подверглись разлинзованию и будинажу. Вдоль них наиболее часто закладывались синскладчатые разломы.

Разрывные нарушения по отношению к жилοοбразованию разделены на три возрастные группы (Гусев С.А., 1986г.). В первую группу дорудных разломов входят локальные зоны смятия и расщепления. Вторая группа включает жилοконтролирующие разломы и представлена сбросами, взбросами и надвигами. К пострудным отнесены диагональные сдвиги.

Рудоконтролирующие разломы согласны общей структуре. Для них характерен ступенчатый характер в плане и в разрезе. Наиболее древними в группе рудоконтролирующих и наименее продуктивными являются сбросы. Максимальной продуктивностью обладают взбросы. Достаточно продуктивны надвиги. Они считаются наиболее молодыми и возможно не сопровождаются жилοοбразованием, а сами в процессе своего развития "притягиваются" к жилам.

Жилы тяготеют к выположенным ступеням разломов всех типов, к их оперению, к участкам их сближения. Пострудные дизъюнктивы представлены на месторождении диагональными (З-СЗ и В-СВ) сдвигами, проявленными маломощными зонами дробления и тонкого измельчения пород. Амплитуды сдвигов достигают 20 м.

Кварцево-жильная минерализация

По состоянию на конец 80-х годов на месторождении было выделено около 800 жил мощностью более 0,5 м; из них 150 жил, выходящих на поверхность. На глубину минерализация прослежена на 350 м без признаков снижения продуктивности.

Форма жил разнообразна – наблюдаются линзовидные, клиновидные, трубообразные тела, а также жилы сложной формы, вплоть до штокверков. Преобладающее простирание – субмеридиональное, падение крутое (50° - 90°) западное или пологое (0° - 30°) восточное. Иные ориентировки жил отмечаются редко. Склонение пологое (до 20°) южное или северное. Средний размер жил 20-30 м по простиранию, 5-10 м по падению, при мощности 1-2 м. Установленные максимальные параметры жил составляют 90 м по простиранию, 35 м по падению и 12 м по мощности.

Жилы сгруппированы в жильные зоны, важнейшей из которых является зона 70-А, протянувшаяся меридионально вдоль всего месторождения на 1,7 км, при мощности,

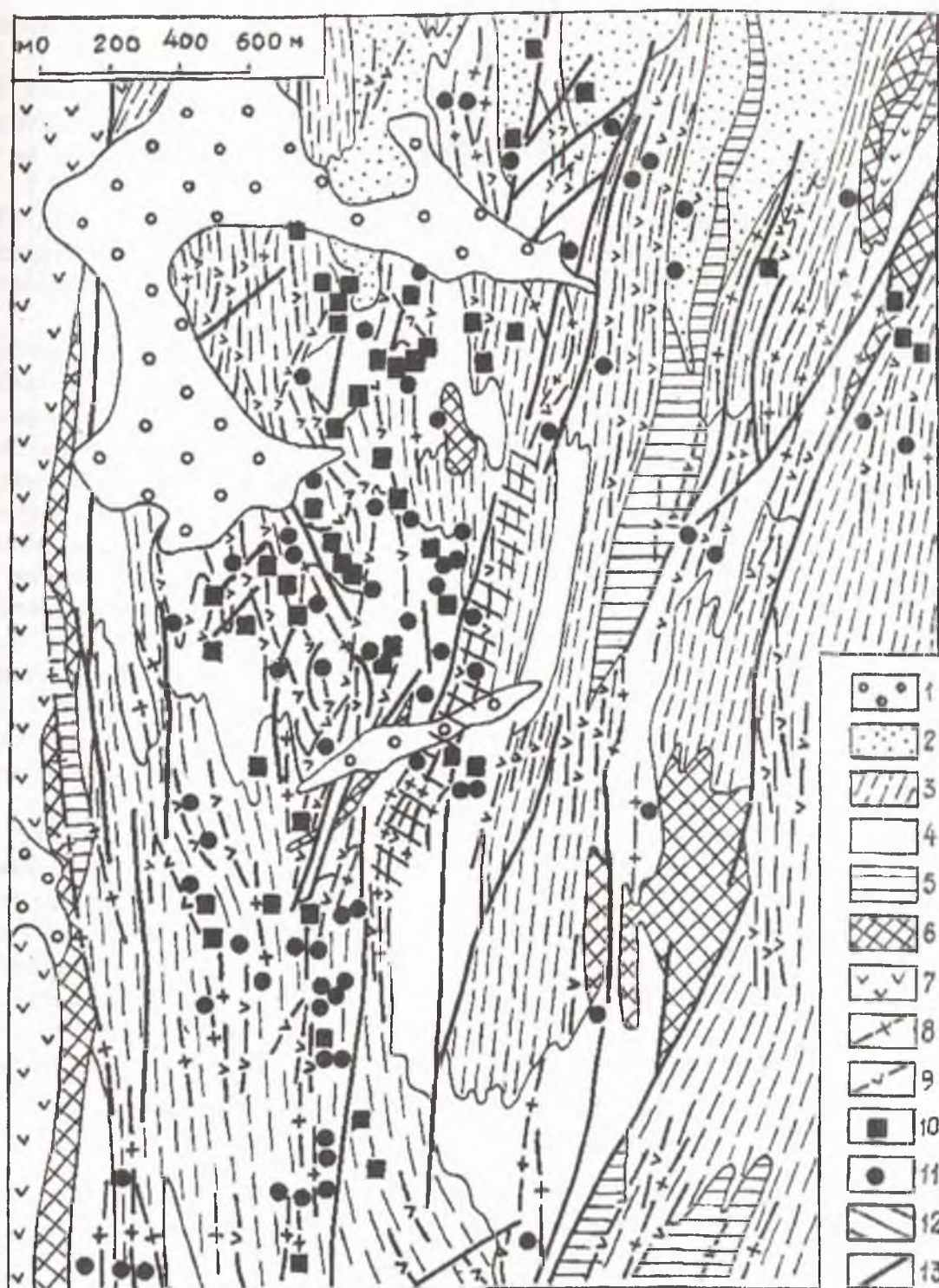


Рис. 41. Геологическая карта Додовского жильного поля. По А.И. Аронову (1976г.)

1 - четвертичные отложения. 2-5 - пуйвинская свита (P_2pv): 2 - слюдистые кварциты и филлиты-сланцы (pv_3); 3 - филлиты-сланцы и филлиты кварц-хлорит-биотит-серицитовые (pv_2); 4 - филлиты-сланцы серицит-кварц-хлоритовые (pv_1); 5 - контактово-метаморфизованные породы (ороговикование, адиолитизация, прожилковое окварцевание, гранитизация). 6 - порфировидные граниты и гранодиориты, гранит-порфиры (PZ_2). 7 - габбро-диориты, диориты, (PZ_1). 8 - дайки кислого состава. 9 - дайки основного состава. 10 - хрусталеносные кварцевые жилы. 11 - нехрусталеносные кварцевые жилы. 12 - Восточная зона смятия. 13 - разломы

достигающей 200 м. Жильные зоны контролируются дайками и пучками даек и образуют веер, раскрывающийся на север.

Месторождение Додо является одним из немногих, при изучении которого были выработаны достаточно подробные представления в вопросах, касающихся локализации жил, их морфологии и типизации жильного кварца. Поэтому опыт, полученный на этом объекте, требует несколько расширенного изложения.

Основные выводы по перечисленным вопросам были сделаны Л.С. Скобелем (1979г.). Им предложена структурно-морфологическая классификация кварцевых жил, составленная из пяти типов и основанная на характере их связи с жилоконтролирующими разломами (рис. 42.).

Первый тип включает жилы в швах разломов (взбросов, сбросов и надвигов) на участках их крутозалегающих ступеней. В морфологическом отношении это наиболее простые жилы, обычно линзовидной формы, в той или иной мере осложненные апофизами. Среди них можно выделить 2 подтипа. Первый включает жилы полностью согласные сланцеватости вмещающих пород. Вторые, при общем согласном залегании, непосредственно в контакте имеют рвущие взаимоотношения со сланцами. Жилы первого типа содержат прозрачный кварц с многочисленными следами дислокационного метаморфизма. Хрусталеносные полости для них нехарактерны, хотя и не исключаются.

Второй тип объединяет жилы, залегающие в пологих ступенях разломов и имеющие секущее положение по отношению к сланцеватости вмещающих пород. Форма тел по сравнению с предыдущим типом характеризуется большей сложностью. Жилы сложены преимущественно шестоватым или массивным молочно-белым кварцем, слабо метаморфизованным, с реликтами структур первичного роста. Характерно дробление кварца и повышенное содержание минеральных примесей. Жилы содержат в основном мелкие гнезда, расположенные обычно в апофизах со стороны лежащего бока.

Жилы третьего типа залегают в оперении разломов и имеют ясно выраженное секущее положение по отношению к сланцеватости. Для них характерно пологое ($10-30^\circ$) падение на восток. Характер контактов неровный, зазубренный, подчеркивающий образование жил в трещинах отрыва. Форма жил часто клиновидная, встречаются плитообразные жилы, а также более или менее изометричные в поперечном сечении. Оперяющие трещины, вмещающие жилы данного типа, приурочены к изгибам разломов по падению и простиранию, а также к участкам сближения разрывов. Третий тип наиболее продуктивен в отношении горного хрусталя. Тела, не содержащие хрусталеносных полостей, являются редким исключением. Жильный кварц – молочно-белый, первичной кристаллизации, а также более прозрачный перекристаллизованный, тяготеющий к нижней части жил и генетически связанный с хрусталеносными полостями.

Четвертый тип объединяет тела сложной формы, приуроченные к зонам дробления даек диабазов и гранитоидов. Контуров жил неровные, извилистые, широко развито замещение кварцем вмещающих пород. Размеры тел невелики: в среднем 5-6 м по простиранию и 2-3 м в двух других измерениях. Жильный кварц прозрачный, часто стекловатого облика, является наиболее качественным на месторождении. Полости с горным хрусталём как правило мелкие, расположены на выклинивании апофиз, реже – внутри жилы.

Пятый тип включает немногочисленные трубообразные тела, залегающие в раздвиговых полостях, возникающих в дайках. В поперечнике жилы изометричны и имеют овальную или многоугольную форму. Размеры по простиранию в среднем в 10 раз превышают поперечные размеры. Жильный кварц от молочно-белого до прозрачного стекловатого. Некоторые тела хрусталеносны, но гнезда обычно мелкие, изредка достигающие средних размеров.

На месторождении достаточно уверенно выделяются три основных генетических типа кварца: один – первично-кристаллизованный тип и два метаморфизованных. Первичный кварц характеризуется низкой прозрачностью (молочно-белый), структурой от мелкозернис-

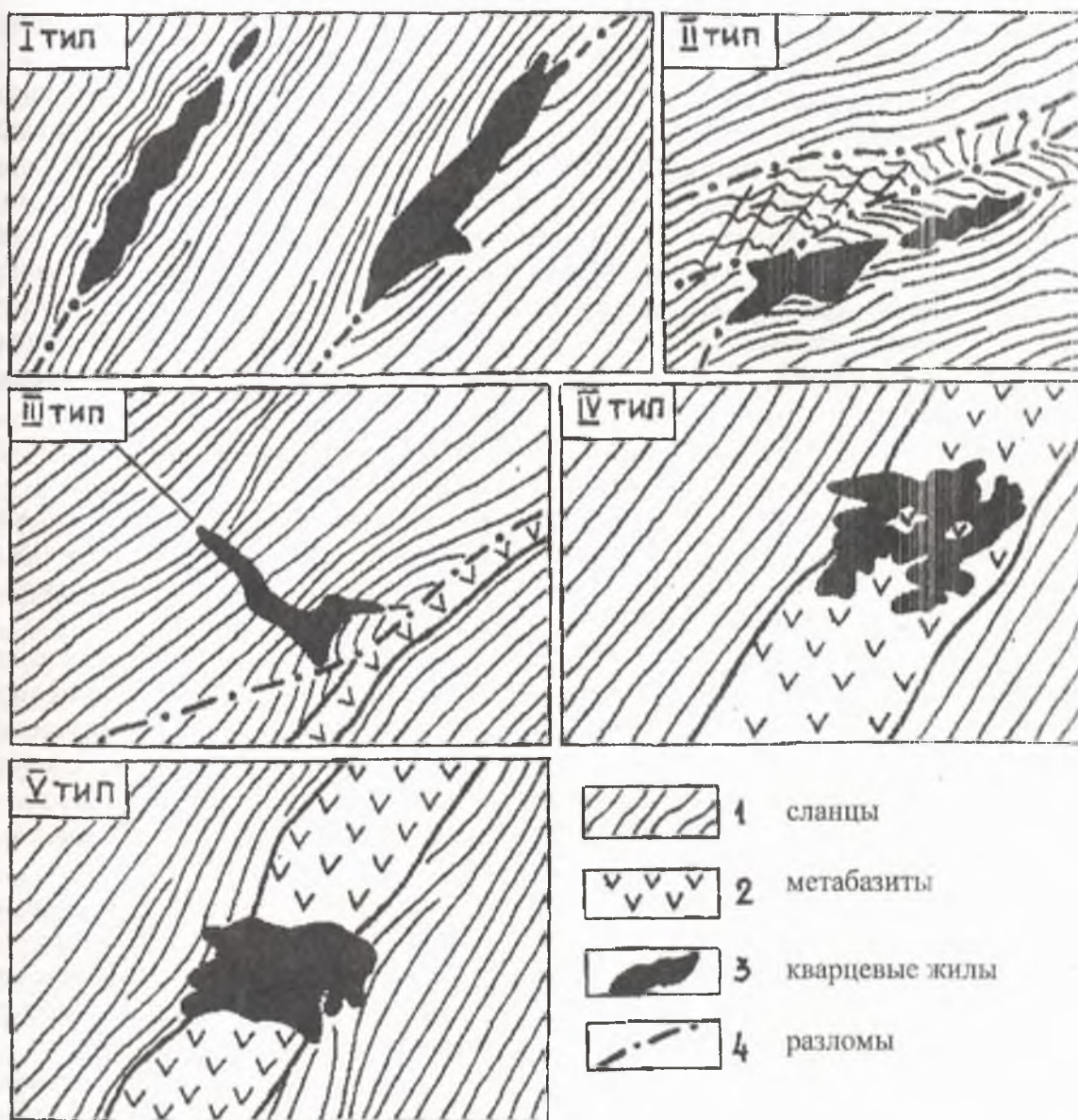


Рис. 42. Структурно-морфологические типы кварцевых жил месторождения Додо (по Л.С.Скобелю, 1979 г.)

той до гигантошестоватой. В шлифах зерна имеют полигональную форму с прямолинейными границами, катаклаз и пластические деформации не характерны. Первичный кварц обычен в жилах 2-го и 3-го типов, однако в чистом виде он встречается редко и, как правило, несет следы метаморфизма.

Метаморфизованный кварц разбивается на два типа: динамо-или стрессметаморфизованный кварц, слагающий жилы первого типа, в наибольшей степени испытавшие на себе дислокационный метаморфизм и наиболее конформные по отношению к вмещающим породам, и гидротермально-метаморфизованный кварц, образующийся за счет перекристаллизации первичного или стрессметаморфизованного кварца в процессе гнездовой стадии развития жилы.

Стрессметаморфизованный кварц значительно прозрачнее первичного, в основном крупно- и грубозернистый, со сложными межзерновыми границами и наличием следов

пластических деформаций внутри зерен. Отмечаются гранулированные разности, тяготеющие к зальбандам и участкам выклинивания жил.

Гидротермально-метаморфизованный кварц, именуемый на месторождении перекристаллизованным или околоснездовым, сопровождает хрусталоносные полости и развивается по кварцу двух предыдущих типов. Часто в жилах первого и второго типов, не содержащих гнезд, он развивается самостоятельно, тяготея к выклиниваниям жил по падению, тем самым подчеркивая позицию, обычно занимаемую хрусталоносным гнездом. Структура кварца чаще всего грубозернистая до гигантозернистой. Степень идиоморфизма индивидов высокая, пластические деформации зерен нехарактерны. По прозрачности он занимает среднее положение между первичным и стрессметаморфизованным. Гидротермально-метаморфизованный кварц зачастую образует постепенные переходы с друзовыми агрегатами горного хрусталя.

Можно отметить устойчивую связь генетических типов кварца с определенными типами кварцевых жил, что позволяет провести возрастное расчленение последних.

В качестве наиболее древних выделяются жилы первого типа, сложенные стрессметаморфизованным кварцем. Образовавшись в доскладчатый этап или в процессе складчатости, они в полной мере испытали на себе общее сжатие толщи, приобретя полный конформизм жильных тел по отношению к вмещающим породам.

Самыми молодыми являются жилы третьего типа, резко секущие по отношению к вмещающим породам. Пластическая деформация жильных тел слабая или полностью отсутствует; жильный кварц представлен в основном первично-кристаллизованной разностью. Вполне очевидно, что образование таких жил происходило на завершении складчатости, когда образующиеся трещины отрыва или сколовые трещины с раздвиговой составляющей заполнялись жильным материалом и сохранялись в почти первозданном виде в связи с затуханием пластической деформации толщи.

Между двумя крайними возрастными группами, существует большое количество жил с промежуточными характеристиками. В основном это тела 2-го структурно-морфологического типа. Для них характерна умеренная деформация (частичное обжатие угловатых форм), субсогласное положение во вмещающих породах и одновременное присутствие первично-кристаллизованного и стрессметаморфизованного кварца.

В принципе можно говорить о наличии непрерывного ряда, в котором происходит постепенное убывание до нуля как степени деформации жильных тел, так и количества стрессметаморфизованного кварца в них. Наличие такого ряда можно объяснить непрерывностью процесса жилообразования, возникшего в начале складкообразования или на каком-то его этапе и завершившегося в фазе затухания пластических деформаций.

Предложенная Л.С. Скобелем структурно-морфологическая классификация кварцевых жил является достаточно полной и вполне удовлетворяет практическим требованиям ведения ГРР на месторождении. Однако её генетический аспект, в основе которого лежит представление об исключительной роли разломов в локализации жил, является проблематичным. На взгляд автора, не учтены в полной мере широко развитые на месторождении жиллокализирующие раздвиговые структуры, возможно автономные и развивающиеся независимо от разломов. В существующей классификации их роль ограничена выделением сравнительно редких жил 5-го типа, залегающих в раздвиговых трещинах дайковых тел. Значение раздвигов в качестве важных жилоконтролирующих элементов вытекает из анализа характерных для месторождения структур типа «песочных часов». Последние являются своеобразным структурным осложнением, наблюдаемым в околосильном пространстве большинства секущих жил, т.е. жил 2-го и 3-го типов.

Наилучшим образом «песочные часы» проявлены около жил 3-го типа, являющихся на месторождении наиболее молодыми. В поперечных разрезах жил на их флангах наблюдаются характерные пологие, симметрично расположенные складки сланцеватости

боковых пород, быстро затухающие по мере удаления от жильного тела (рис. 43). Эти складки аналогичны структуре межбудинных промежутков и отражают стремление боковых пород заполнить раздвиговое пространство, которое параллельно заполняется также жильным материалом. Однако, если в типичных будинаж-структурах раздвиговые трещины развиваются группами с определенной периодичностью, на месторождении Додо они обычно появляются одиночно или группами, но без видимой упорядоченности, хотя типичные будинаж-структуры также иногда встречаются.

Ширина и амплитуда складок в бортах «песочных часов» прямо зависят от объема раздвиговой полости и отражают объем жильной массы, сосредоточенной в центре структуры.

Дальнейшее развитие раздвиговой полости, заполняемой жильным материалом, заключается в ее расширении вдоль сланцеватости и сокращению размеров поперек сланцеватости. Полость (жила) приобретает угловатые, иногда, треугольные очертания, в околожильном пространстве появляется блочная структура, сложная складчатость, пloyчатость, кливаж. Появляются разломы, имеющие тенденцию схождения к центру структуры. Весьма характерны значительные угловые развороты блоков, ограниченных разломами.

Разломы быстро затухают по мере удаления от раздвиги. Достаточно часто возникает дробление и брекчирование, обычно локализованное в блоках, четко ограниченных разломами. Практически постоянной деталью структуры являются псевдоизоклиналильные складки, возникающие в результате «свертывания» краев раздвиговой полости. Вся структурная композиция приобретает порой хаотический характер. Однако широкие пологие складки, расположенные симметрично в бортах этого сложного структурного ансамбля, указывают на наличие деформированной в процессе сжатия структуры «песочных часов».

Общая деформация сжатия «песочных часов» сопровождается перекосом структуры с нарушением ее симметричности. Жильное тело внутри неё из поперечного приобретает кососекущее по отношению к сланцеватости положение и таким образом будет соответствовать жилам 2-го типа. Кососекущее положение жильного тела может быть также следствием заложения раздвиги не в поперечной трещине отрыва, а в диагональной сколовой.

Значительное число согласных жил, относимых к первому типу, сопряжено с псевдоизоклиналильными складками, залегающими в их замках вдоль осевой плоскости. Структура «песочных часов» при этом иногда читается, но чаще отсутствует. Таким образом вполне возможно, что среди согласных жил существуют изначально секущие, заложенные в раздвиги. Эти жилы наиболее деформированы. Вмещающая их структура «песочных часов» была полностью или в значительной мере уничтожена деформацией сжатия. Тем не менее сохранился наиболее консервативный ее элемент — псевдоизоклиналильная складка.

Достаточно сложным является вопрос о пространственных закономерностях размещения раздвиговых структур и их связи с разломами, хотя здесь можно отметить ряд существенных позиций.

Во-первых, раздвиги возникают в прослоях компетентных пород, представленных кислыми и основными дайками и изредка — прослоями мраморов. Но чаще всего раздвиги возникают не собственно в дайках, а в боковых породах в их непосредственном контакте с мощными дайковыми телами.

Вторая устойчивая позиция — залегание раздвиговых жил в полосе сланцев, насыщенной маломощными параллельными дайками.

Третье — раздвиговые структуры возникают между двумя сближенными параллельными дайками или разломами.

Четвертая позиция определяется залеганием жил в узлах пересечения даек или в облас-

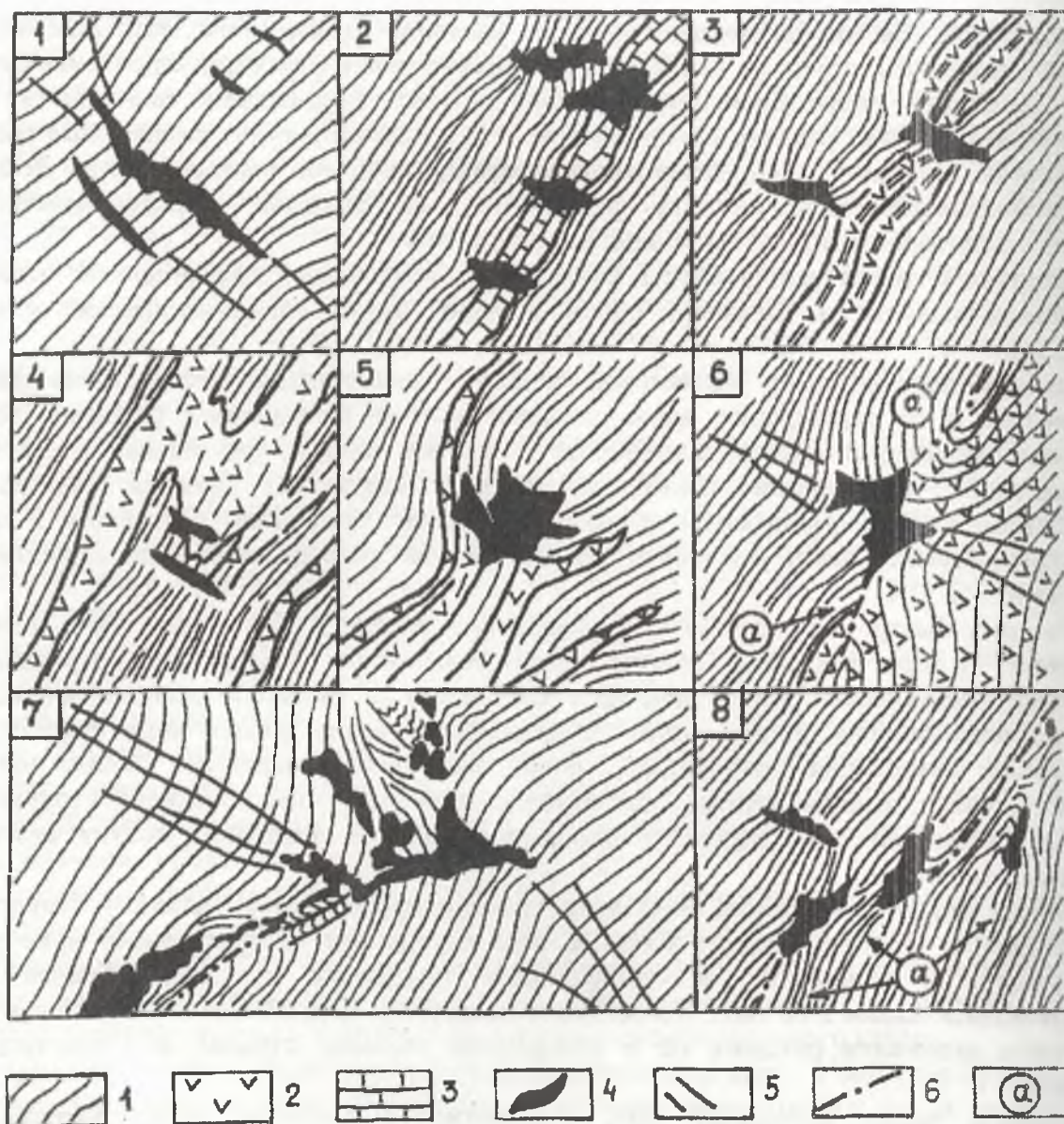


Рис. 43. Использование жилами раздвиговых структур типа «песочных часов»
(по Л.С. Скобелю, 1979 г.)

1 – сланцы. 2 – метабазиты. 3 – мрамора. 4 – кварцевые жилы. 5 – трещины. 6 – разломы. 7 – псевдоизоклинальные складки. Стадии развития раздвиг: (1-4) – ранняя; (5-6) – средняя; 8 – поздняя

ти замков образуемых ими складок.

Нередко типичные структуры «песочных часов» возникают в монотонной толще филлито-сланцев без видимой связи с какими-либо структурными или литологическими неоднородностями. Достаточно обычным является заложение молодых раздвиговых жил в экзоконтакте более древних, деформированных, обычно относящихся к 1-му типу, и таким образом, возникают узлы из разновозрастных жильных тел, заметно различающихся уровнем динамометаморфизма.

Характерным для месторождения является группировка жильных тел вдоль плоскостей, обычно волнистых, полого падающих на восток и, в целом, резко дискордантных по отношению к сланцеватости (рис. 44.). Эти жильные системы интересны тем, что секут выделенную на месторождении разломную сеть. Можно предположить два варианта их образования. Во-первых, жило-локализирующие раздвиги могут заложиться вдоль слайдов –

быть полная переработка (растворение, перекристаллизация) жильного кварца в телах указанных типов.

С зонами дробления связа-но около 10% полостей. Это малопродуктивные образования, характеризующиеся малым количеством кристаллосырья и невысоким его качеством. Выделено 3 подтипа зон дробления и брекчирования: в оперении надвигов, в пологих ступенях тектонических разрывов, в крутых ступенях разрывов. Наиболее продуктивны зоны, локализованные в оперении надвигов. Они занимают отчетливо секущие положения по отношению к сланцеватости. Зоны, залегающие в крутых, т.е. согласных вмещающим породам ступенях разрывов, отличаются самой низкой продуктивностью – на один-два порядка ниже, чем в секущих зонах. Эта закономерность идентична распределению хрусталеносности в полостях, связанных с кварцевыми жилами: максимальная продуктивность наблюдается в жилах 3-го типа (секущий тип), минимальная – в жилах 1-го типа (согласный тип).

Форма хрусталеносных полостей клиновидная, линзовидная, трубообразная, щелевидная или изометричная; нередко полости со сложной морфологией. Помимо горного хрусталя в их выполнении участвуют обломки жильного кварца и вмещающих пород, а также минералы, представленные (в порядке значимости) хлоритом, серицитом, кальцитом, ильменитом, сфеном, апатитом, адуляром, брукитом, анатазом, рутилом, альбитом, пирротинном, халькопиритом. Наибольшим разнообразием минералов отличаются гнезда, залегающие вблизи диабазов. Во всех полостях обычен лёд.

Около хрусталеносных гнезд формируются ореолы изменения. По данным Г.И. Крыловой (1995г) для них характерны:

- насыщенность прожилками поздних минералов (хлорит, серицит, альбит, пирит, кальцит), составляющих 5-25% объема породы;
- наличие нескольких генераций указанных минералов и признаков их перекристаллизации;
- уменьшение объемного веса пород (до 40%);
- возрастание магнитной восприимчивости и (или) уменьшение в 2-3 раза электрического сопротивления;
- возрастание в 1,5-2 раза соотношения $Na/Na+K$.

Жильный кварц хрусталеносных тел характеризуется:

- высокой декрептоактивностью в низкотемпературном интервале;
- повышенным содержанием Na и Li и пониженным Ca , Ti и Fe .

Мощность ореолов изменения соразмерна объёму хрусталеносных полостей. Наибольшей проработкой характеризуются породы со стороны лежащего бока полостей.

Средний вес кристаллов горного хрусталя на месторождении 2-5 кг. Однако практически в каждом гнезде среднего размера встречены кристаллы весом в несколько десятков килограммов, а в крупных гнездах от сотен кг до 1,5 т. В основном кристаллы имеют псевдогексагональный облик с преобладанием граней призмы над гранями ромбоэдров. Коэффициент удлинения индивидов имеет средние значения 1,7-3. Для месторождения характерны скрученные и уплощенные кристаллы, достаточно обычные индивиды со следами растворения и регенерации, двуголовики, кристаллы со скелетными формами роста, а также индивиды самых причудливых очертаний. Окраска преимущественно бледно-дымчатая, зональная, с переходами в дымчатую и бесцветную. Бесцветные кристаллы формируются во внутрижильных полостях и в полостях, залегающих в окружении диабазов. Известны также редкие находки аметистов.

Большинство кристаллов имеет мозаично-блоковое строение. Характерно двойникование, как по бразильскому, так и по дофинеискому законам. Отсюда выход пьезокварца крайне ограничен и составляет сотые доли процента от объема кристаллосырья (табл. 7.6.).

В то же время химсостав кристаллов достаточно уникален (табл. 7.8.). По чистоте в отношении Al , K , Na они не имеют аналогов, хотя содержание Fe и Ca не всегда отвечает действующим ТУ, применительно к сырью высокого качества. Выход горного хрусталя для плавки составляет 40-65% от веса добываемого кристаллосырья (табл. 7.6.). Таким образом месторождение в основном специализировано на плавочное кристаллосырьё; пьезокварц же рассматривается как попутный компонент.

Таблица 7.8

Состав жильного кварца и горного хрусталя месторождения Додо (ЭП, ср. значения)

Преобладающий тип кварца	Свето- пропус- кание, %	Содержание ЭП, $\times 10^{-4}\%$								ЭП
		Fe	Al	Ti	Ca	Mg	Li	K	Na	
Кварцевые жилы										
Перекристаллизованный	49	1,3	8,4	0,6	1,9	0,9	0,45	3,5	8,0	25,
Стекловидный + пере- кристаллизованный	56	1,4	15,8	0,7	1,8	1,4	0,24	2,1	8,3	31,
Молочно-белый	24,5	0,6	9,2	0,5	1,6	0,5	0,35	1,25	1,25	15,
Хрусталеносные тела										
Горный хрусталь (ср. по 133 пробам)		4,7	16,9	0,7	>1,5	0,2	1,1	1,6	6,3	33,
Горный хрусталь повы- шенного качества (ср. по 33 пробам)		6,6	10,4	0,6	5,1	1,1	1,2	0,6	1,1	27,

Перспективы месторождения

Месторождение Додо – один из немногих эксплуатируемых в настоящее время объектов, являющийся источником прозрачного жильного кварца и горного хрусталя для плавки, а также шихты для синтеза монокристаллов кварца. С дневной поверхности месторождение отработано практически полностью, на глубину же полезная минерализация прослежена до 350 м. Данные условия определяют месторождение, как объект подземной отработки. Подсчет запасов производился в 1983г. и в 1991г. (табл. 7.7.) В подсчет вовлекались запасы прозрачного жильного кварца, горного хрусталя для плавки, молочно-белого кварца (шихта для синтеза) и пьезокварца (попутный компонент).

Фланги месторождения, глубинные зоны под блоками подсчета запасов, прилегающие площади жильного поля оценены в отношении прогнозных ресурсов.

По сумме запасов и прогнозных ресурсов Додо представляет собой крупное комплексное месторождение кварцевого сырья, в первую очередь высокосортных плавочного сырья его разностей.

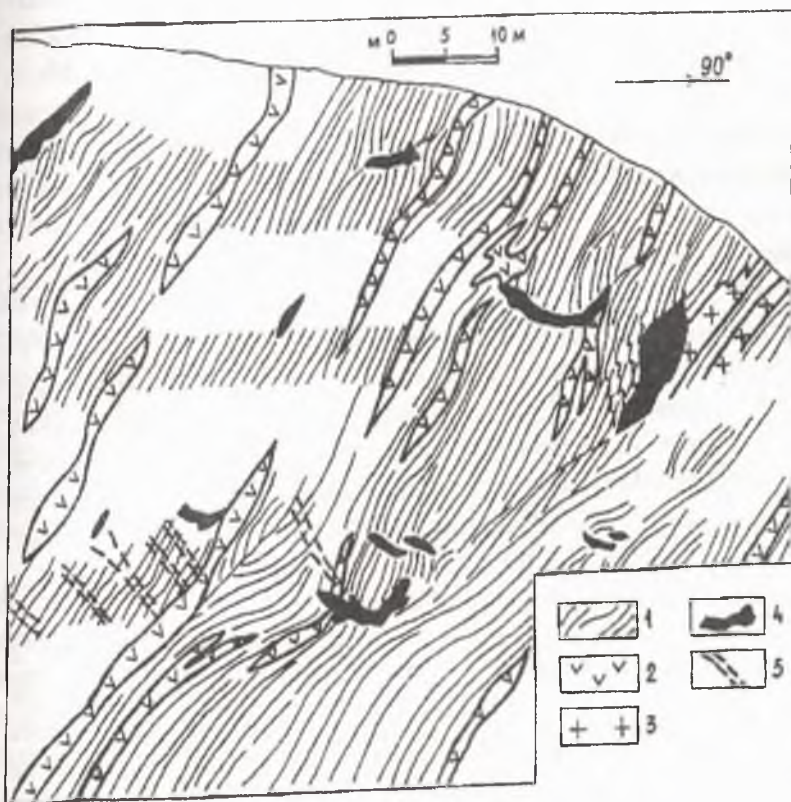


Рис. 44. Фрагмент широтного разреза месторождения Додо с кварцевыми жилами в раздвиговых структурах (по Л.С. Скобелю, 1979 г.)

1 – сланцеватость. 2 – метабазиты. 3 – метагранитоиды.
4 – кварцевые жилы. 5 – парные трещины (кинкбанды)

сжатия вмещающей толщи, что привело к генерации жильных тел, образующих непрерывный возрастной ряд, отражающий последовательное снижение деформации жил от древних к более молодым.

Для решения вопроса связи раздвигов с разломами необходим анализ выявленной на месторождении разломной сети. Эта сеть представляет собой совокупность субпараллельных, малоамплитудных сместителей, согласных генеральному направлению сланцеватости и следующих с периодичностью в среднем 5-30 м. Сеть в целом отражает линзовидно-блоковую структуру месторождения, возникшую в результате общего субширотного сжатия. В процессе этого сжатия раздвигообразование является следствием дефицита пластичности толщи и не связано прямо с функционированием самих разломов, хотя в какой-то мере и это тоже возможно. В основном раздвиги закладываются с учетом различных литологических и структурных неоднородностей филлит-сланцевой толщи и, в том числе, реагируют на различного рода «удобную» комбинаторику разломной сети: сближение субпараллельных разломов, остроугольные выклинивания блоков, ограниченных разломами, пересечение разломами скрытых, пологозалегающих структурных поверхностей, субпараллельных оси сжатия. В то же время раздвиги в процессе своего развития сами становятся центрами разломообразования.

Хрусталеносная минерализация

Хрусталеносная минерализация месторождения является поздней, наложенной на кварцевые жилы. В морфологическом отношении она разнообразна. Л. С. Скобель выделяет

древних разломов, заретушированных метаморфизмом. Второй вариант – раздвиги закладываются вдоль литологических границ, существующих в сравнительно монотонной филлит-сланцевой толще и также затушеванных метаморфизмом.

Таким образом на месторождении широко развиты жилы, связанные с раздвиговыми структурами, заложенными: а) по принципу, близкому к развитию будинач-структур, т.е. с учетом фактора компетентности-некомпетентности пород; б) в структурных узлах (замки складок, пересечение даек); в) вблизи ранее образованных жил; г) вдоль древних метаморфизованных разломов или элементов первичной слоистости филлит-сланцевой толщи. Жилообразование продолжалось длительно на фоне развития деформации

три типа минерализации: хрусталеносные полости в кварцевых жилах, минерализованные трещины и минерализованные зоны дробления. В свою очередь типы подразделяются на подтипы (рис. 45.). Так полости, связанные с кварцевыми жилами, включают шесть подтипов, среди которых:

- подтип 1 – полости, связанные с трещиноватостью кварцевых жил;
- подтип 2 – полости на выклинивании жил по падению и склонению;
- подтип 3 – полости в лежащем боку жил;
- подтип 4 – полости на перегибах жил по падению и простиранию;
- подтип 5 – полости в апофизах жил;
- подтип 6 – штокверкообразные системы полостей в лежащем боку жилы.

Первый тип составляет около 60% от общего количества полостей на месторождении, при этом наибольшее значение имеет подтип 2. Полости первого подтипа представляют наименьший интерес. Они небольшого размера и содержат низкокачественное кристаллосырьё. Для месторождения характерны однополостные жилы. Размеры полостей разнообразны. Наиболее крупные достигают длины 40 м, при мощности 2,5 м. По падению они тянутся до 16 м. Крупные полости содержат до 100 т кристаллосырья, средние до 10 т, мелкие – менее 1 т. Средний объем полостей – первые десятки м³.

Полости первого типа (подтипы 2, 3, 6) проявляют отчетливую тенденцию к размещению в нижних частях жильного тела. Особенно ярко это свойство выражено при залегании полости на выклинивании жил по склонению. В этом случае хрусталеобразование локализуется в самой нижней точке жилы, что является, судя по всему, следствием влияния на процесс гравитационного фактора.

Второй тип (минерализованные трещины) составляет 30% всех полостей. Он представлен 5-ю подтипами. Первые два подтипа связаны с раздвиговыми трещинами, образующимися в сланцах или при будинаже даек. Третий подтип включает минерализованные раздвиговые трещины, образующиеся на продолжении кварцевых жил по падению или простиранию. Четвертый и пятый подтипы также тесно связаны с кварцевыми жилами. Четвертый представлен секущими трещинами отрыва, отходящими от контактов согласных кварцевых жил, а пятый – трещинами отрыва, параллельными зальбандам секущих кварцевых жил.

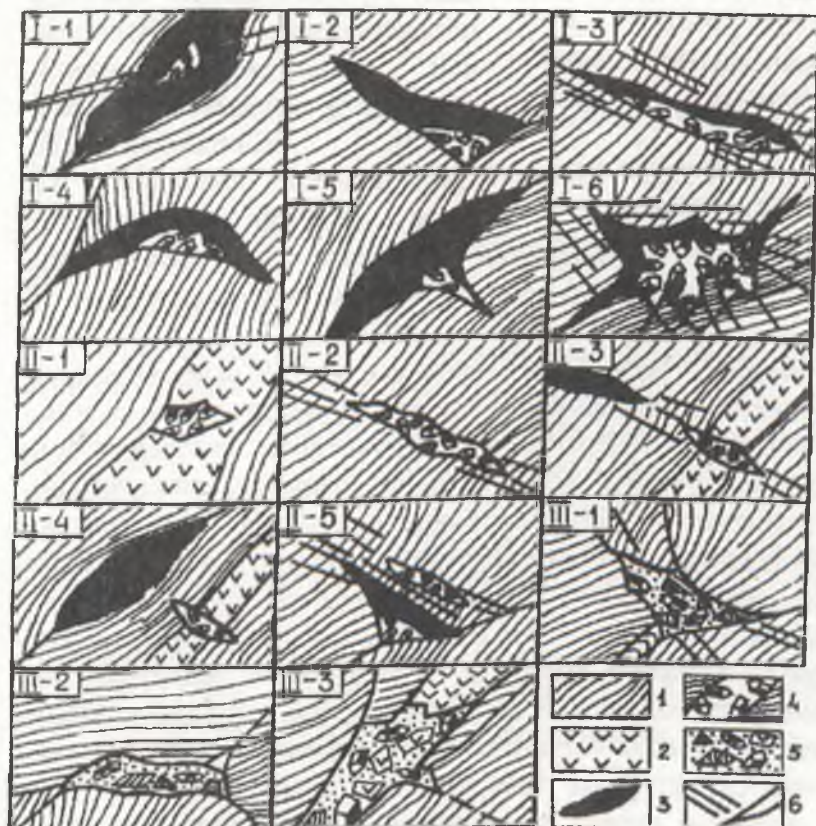


Рис. 45. Структурные типы хрусталеносных полостей месторождения Додо (по Л.С. Скобелю, 1979г.)

1 – сланцы. 2 – метабазиты. 3 – кварцевые жилы. 4 – хрусталеносные полости. 5 – брекчии с горным хрусталем. 6 – трещины и разломы. Типы полостей: I – полости в кварцевых жилах; II – минерализованные трещины; III – минерализованные зоны дробления

Морфологически минерализованные трещины часто идентичны жильным телам 3-го и 5-го типов. Поэтому одним из вариантов их генезиса может

7.2.4. Месторождение Желанное

Геолого-структурное положение

Месторождение расположено на западном склоне Приполярного Урала. Первые сведения об обнаружении здесь кристаллов кварца относятся к 1938г. Практическое значение объект приобретает в 1955г. С этого года и по настоящее время здесь с незначительными перерывами ведутся геологоразведочные работы и промышленная добыча горного хрусталя и жильного кварца.

Месторождение входит в состав Желаннинского хрусталеносного узла и приурочено к восточному крылу Балбаньюсской грабенсинклинали, выполненной породами верхнего структурного этажа (тельпосская и хыдейская свиты). Тельпосская свита сложена (снизу вверх) базальными конгломератами и гравелитами, слюдистыми кварцито-песчаниками с редкими линзами гравелитов, среднезернистыми кварцитами. Отложения хыдейской свиты представлены переслаиванием слюдисто-кварцевых песчаников с серицит-кварцевыми филлито-сланцами. Ордовикские породы претерпели метаморфизм в условиях биотит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации.

Кварц-хрусталеносная минерализация имеет определенную стратиграфическую позицию и приурочена в основном к кварцитам верхней части разреза тельпосской свиты. В значительно меньшем объеме она представлена в низах хыдейской свиты. Жильная минерализация на месторождении связана с оперяющими разломами крупного тектонического шва, являющегося межформационным срывом, разделяющим протерозойский и герцинский структурные этажи. Оперяющие разломы, так же как и основной шов, имеют северо-восточное простирание и северо-западное падение. В сочетании с поперечными зонами дислокаций разломные структуры вносят блоковый элемент в общий структурный план месторождения, определяемый в основном плекативными формами (рис. 46.).

К двум оперяющим нарушениям приурочены две хрусталеносные зоны месторождения – Восточная и Западная. Несмотря на близость структурно-тектонической позиции и общность литологической обстановки, указанные зоны различаются морфологическими, а также вещественными характеристиками минерализации.

Восточная хрусталеносная зона

Хрусталеносная зона следует вдоль оперяющего разлома, именуемого Восточным тектоническим швом. С юго-востока она ограничена непосредственно нарушением, представляющим собой зону дробления, разлистования и милонитизации слюдистых кварцитов. Северо-западная граница зоны (висячий борт) расплывчатая и определяется затуханием трещиноватости и выщелачивания этих пород. Протяженность зоны 1300 м, средняя мощность 10 м; на глубину она прослежена до 90м. Падение крутое (70-85°) на северо-запад, с обратным северо-восточным на отдельных участках. Кварц-хрусталеносная минерализация развита на изгибах тектонического шва по падению и простиранию. Вблизи самого шва наблюдается максимум минерализации. По мере удаления от него продуктивность снижается параллельно с затуханием метасоматических изменений в кварцитах.

Минерализация в пределах зоны распределена неравномерно и проявлена в виде нескольких сложно построенных жильных узлов, разделенных блоками неизмененных кварцитов. Средние параметры узлов: длина – 350 м, мощность – 10 м, длина по падению 90 м. Внутри узлов выделяются жильные этажи, разобщенные полосами метасоматически измененных кварцитов. Длина по простиранию жильных этажей составляет 10-40 м; разделяющих их неминерализованных полос – примерно такая же. Внутри этажей содержатся многочисленные кварцевые жилы и прожилки, сопровождаемые хрустальными

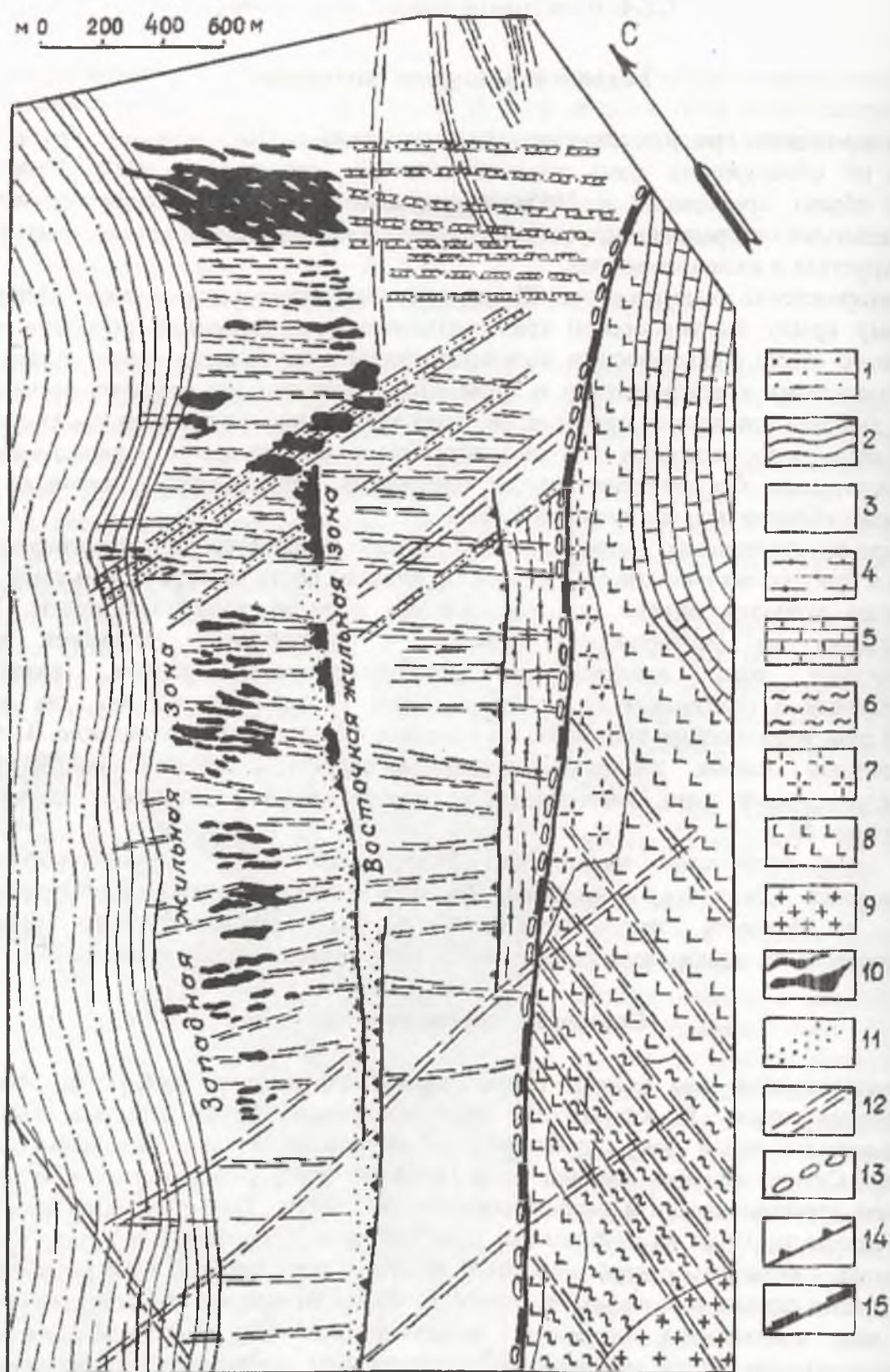


Рис. 46. Геологическая карта Желаннинского хрусталеноносного поля
(по С.С. Цюцкому и др., 1984г.)

Верхний структурный этаж ($O_{1,2}$): 1 – кварц-слюдистые песчаники и филлиты; 2 – кварциты с прослоями филлитов; 3 – кварциты и кварцито-песчаники массивные и полосчатые; 4 – полимиктовые кварцито-песчаники. Нижний структурный этаж (R): 5 – хлорит-карбонатные сланцы и известняки маньинской свиты; 6 – кварц-хлорит-серицитовые и филлитовидные сланцы. Магматические породы: 7 – кварцевые порфиры; 8 – диабазы; 9 – калишпатовые граниты. 10 – кварцевые зоны и узлы. 11 – гидротермально измененные породы. 12 – зоны трещиноватости. 13 – апокварцитовые конгломератовидные тектониты. 14 – разломы. 15 – межформационный срыв

гнездами и минерализованными трещинами, обычно приуроченными к сериям сближенных трещин юго-восточного пологого падения. Гнезда и минерализованные трещины образуют продуктивные ярусы. Мощность последних составляет 2-5 м, интервалы между ярусами – 2-8 м. Длина ярусов по простиранию соответствует длине жильных этажей. Максимальная продуктивность ярусов наблюдается вблизи тектонического шва. По мере удаления от него наряду со снижением продуктивности уменьшается и размер кристаллов.

Жильный кварц в Восточной зоне средне-, крупно-, гиганто-зернистый, массивный, шестоватый и друзовый, молочно-белый с участками стекловидного. Мощность зон околожильного изменения, как правило, в пределах нескольких сантиметров.

Хрустальные гнезда тяготеют к нижним границам кварцевых жил и имеют щелевидную или трубообразную форму, иногда близки к изометричным. Объем полостей достигает нескольких десятков кубометров. Гнездовое выполнение образовано кварцевым «песком» и гидрослюдами с небольшим количеством турмалина. «Песок» представляет собой в основном мелкие хорошо оформленные кристаллики кварца. Окологнездовые изменения кварцитов внешне проявлены их осветлением и выщелачиванием, и сопровождающимся интенсивным выносом кремнезема. Привнесены в основном алюминий, магний, кальций, натрий, калий, железо, титан, марганец. Минералогическими индикаторами окологнездовых изменений являются: серицит, турмалин, рутил, циркон и монацит. Количество турмалина в окологнездовых кварцитах может возрасти в 100 раз. Мощность зоны окологнездового изменения обычно находится в пределах нескольких метров, иногда достигая нескольких десятков метров.

Кристаллы горного хрусталя Восточной зоны в большинстве бесцветные, с цитриновой и цитриново-дымчатой наведенной радиационной окраской. Средний вес индивидов – 0,7 кг. Восточная зона представляет интерес в основном как источник пьезооптического и ограночного материала и в меньшей мере – плавочного сырья.

Западная хрусталеносная зона

Хрусталеносная зона прослеживается на 1800 м вдоль висячего бока разлома С-В простирания, оперяющего межформационный срыв. В пределах этого блока минерализация контролируется участками его пересечения с нарушениями северо-западного и субширотного простирания. Средняя мощность хрусталеносной зоны 250 м. По падению она прослежена на 150 м. Зона разбита на жильные узлы, контролируемые поперечными нарушениями (рис. 47). В узлах вмещающие кварциты в разной степени подвергнуты выщелачиванию. Всего установлено около 30 жильных узлов, имеющих следующие средние параметры: длина по простиранию – 100 м, по падению – 65 м, мощность – 25 м. Простирание узлов северо-западное, падение кругое. Узлы представляют собой серию сближенных субпараллельных кварцевых жил и прожилков и по структуре часто приближаются к штокверку. При этом уровень насыщенности кварцем достигает 70-80%. Входящие в состав узлов жилы делятся на три морфологические группы: линзовидные, плитовидные и сложные.

Линзовидные жилы характеризуются длиной по простиранию – от нескольких десятков до 150 м, по падению – достигают 50 м, мощность колеблется от нескольких до 10 м. Плитовидные жилы характерны для северо-западного выклинивания узлов. Длина их до нескольких десятков метров. Мощность же незначительна и редко достигает нескольких метров. Сложные жилы характеризуются сочетанием различных по мощности и форме жил и прожилков.

Жильный кварц Западной зоны сравнительно однороден. В качестве основной разновидности фигурирует крупно-гигантозернистый белый кварц, со светопропусканием 30-50%. Он содержит прозрачные участки размером до нескольких сантиметров. Количество

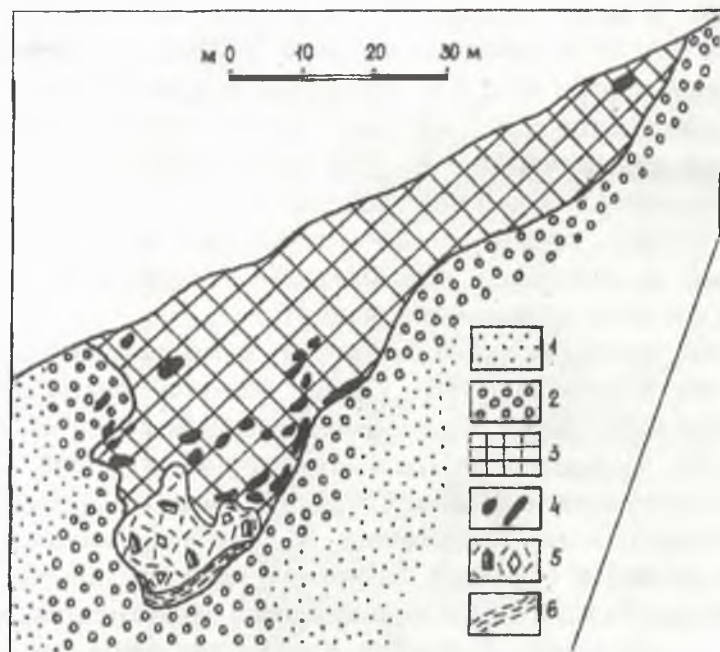


Рис. 47. Месторождение Желанное. Продольный разрез-проекция одного из кварцево-жильных узлов Западной зоны (по С.С. Цюцкому, 1984 г.)

- 1 — кварциты. 2 — измененные кварциты. 3 — кварцево-жильный узел. 4 — внутрижильные хрусталеносные полости. 5 — хрусталеносная полостная зона. 6 — серицитолиты

развиты внутри жил и имеют щелевидную и линзовидную форму, незначительные размеры. Они малопродуктивны и не имеют самостоятельного промышленного значения. Наложенные гнезда разделяются на 3 подтипа: внутрижильные полости, полости на выклинивании по падению или в лежачем боку небольших жильных тел, полости на нижнем выклинивании мощных кварцевых жил (узлов).

Внутрижильные полости контролируются трещиноватыми участками жилы. Размеры колеблются от нескольких кубических дециметров до нескольких кубометров. Несмотря на небольшие размеры, количество извлекаемого из них кристаллосырья может достигать нескольких тонн. Размер кристаллов до 40 см по длинной оси; вес достигает 15 кг. Облик кристаллов псевдогексагональный, короткопризматический. Основные дефекты — дофинеи и бразильские двойники, трещины, минеральные присыпки (серицит, турмалин, рутил, пирит, халькопирит), ГЖВ. Монообласти достаточно редки (выход пьезокварца не превышает 0.3% от добываемого кристаллосырья). В гнездовом выполнении участвуют обломки жильного кварца, реже кварцевая сыпучка и турмалин-серицитовая масса, а также лед. Горный хрусталь — бесцветный и лишь при значительном количестве турмалин-серицитовой массы приобретает слабодымчатый оттенок.

Гнезда второго подтипа располагаются в прожилково-жильных частях узлов. Размер гнезд от 0.1 до 10 м³. Количество кристаллов от нескольких килограммов до нескольких тонн. Кристаллы дымчатые и слабодымчатые. Гнездовое выполнение представлено турмалин-серицитовой массой и кварцевой сыпучкой.

Полости третьего подтипа имеют очень крупные размеры (по сути — полостные зоны). Объем их достигает нескольких сотен и даже первых тысяч кубометров, продуктивность — сотен тонн кристаллосырья. Морфология полостей сложная. В верхней части они ограничиваются поверхностью перекрывающей кварцевой жилы. Плоскости, ограничива-

прозрачного кварца колеблется в пределах 5-30%. В зальбандах развит серый средне-крупнозернистый агрегат, также содержащий мелкие участки прозрачного. В качестве около-гнездового выступает дымчатый, участками прозрачный крупнозернистый кварц. Этот же материал отмечается на контакте кварцевых жил и серицитолитов — наиболее измененных в гнездовую стадию вмещающих кварцитов. Внутри жильной массы постоянно отмечаются индукционные грани, часто встречаются ксенолиты выщелоченных кварцитов, служащих как бы центрами разрастания кварцевых агрегатов.

Хрусталеносные гнезда Западной зоны по генезису и морфологии разделяются на два типа — остаточные и наложенные. Остаточные полости

ющие борта полости, обычно совпадают с наиболее развитыми системами трещин в кварцитах. Резкой границы между полостью и жильным кварцем нет, т. к. жильная масса, прилегающая к полости, насыщена многочисленными мелкими гнездами, количество которых убывает вверх по разрезу. Сам кварц приобретает друзовую – шестоватую текстуру, дымчатую окраску. Строение зон характеризуется вертикальной зональностью. В нижней части преобладает турмалин-серицитовая масса с отдельными небольшими густодымчатыми кристаллами горного хрусталя. По направлению вверх количество кристаллов увеличивается. В средней части преобладают тесно сросшиеся кристаллы, образующие иногда сплошную высокопрозрачную массу. В дополнение к турмалин-серицитовой породе в гнездовом выполнении этой зоны появляется кварцевая сыпучка, регенерированные обломки жильного кварца и в разной степени измененных кварцитов. Эти обломки могут служить затравками для роста горного хрусталя. В верхней части полости преобладают обломки перекристаллизованного жильного кварца и отдельные крупные кристаллы горного хрусталя весом до 500 кг. Здесь же отмечается интенсивное ожелезнение всей породы.

Полости Западной хрусталеносной зоны являются в основном источником горного хрусталя для плавки. Количество пьезокварца здесь невелико. Вещественный состав и жильного кварца, и горного хрусталя обеих зон месторождения достаточно близок (табл. 7.9.). Основные примеси в кварце – лимонит, серицит, турмалин, реже – рутил; в кристаллах – серицит, турмалин, по трещинам – гидроокислы железа. Из элементов-примесей в жильном кварце повышены содержания кальция и титана, в горном хрустале – алюминия и марганца. Тем не менее и из жильного кварца, и из горного хрусталя обеспечивается достаточно высокий выход кварцевого сырья для плавки: жильный кварц используется в качестве шихты для синтеза монокристаллов кварца.

Таблица 7.9.

Состав химических примесей в жильном кварце и горном хрустале месторождения Желанное (по С.С. Цюцкому, 1995г.)

Тип кварца	Содержание ЭП, $n10^{-4}\%$								
	Си	Ti	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Na	K
Жильный кварц									
сорт высший	-	0.7	0.7	0.7	1.0	9.3	-	18	1.2
I	-	4.7	5.2	2.6	1.8	7.8	-	2.0	?
II	-	1.2	9.5	2.8	1.6	5.8	-	1.5	?
III	0.3	2.3	3,5	1.8	3.6	10,0	0.4	5.4	5.4
Горный хрусталь									
сорт I	0.04	0.6	1.0	0.3	2.5	17.2	0.15	4.8	2.2
II	0.05	0.6	2.2	0.4	1.9	26.1	0.10	7.8	2.3
III	0.08	0.6	2.0	0.7	2.9	16.4	0.2	9.7	0.7

Перспективы месторождения

Месторождение Желанное является крупным комплексным объектом, с промышленными запасами жильного кварца различного назначения (для плавки, оптического стекловарения, шихты для синтеза), горного хрусталя для плавки и пьезокварца. Наиболее ценным сырьем на месторождении является жильный кварц, из которого обеспечивается удовлетворительный выход высшего и первого сорта прозрачного кварца для плавки, а также высококачественной шихты. Горный хрусталь, при его относительно высокой насыщенности ЭП (Al, Mn, щелочи), значительно уступает по качеству сырью

других месторождений П.Урала. Пьезокварц относится также к сырью невысокой сортности и спроса практически не находит (табл. 7.6.).

На сегодняшний период разведана лишь часть месторождения (16 узлов из выделенных 30); к северу намечается фактическое его продолжение (зоны Черная, Левобережная), с близкими характеристиками минерализации. По недоразведанным участкам месторождения проведена оценка прогнозных ресурсов.

Сумма запасов и оцененных прогнозных ресурсов P_1 подтверждает роль месторождения как крупного, далеко не исчерпавшего своего потенциала комплексного источника кварцевого сырья (табл. 7.7.).

8. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ МОЛОДЫХ (MZ-KZ) СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

К хрусталеносным территориям, связанным с молодыми складчатыми областями, в пределах России относятся Верхоянская и Кавказская провинции (частично), Момский (Илинь-Тасский) район, а за её пределами – Памирская провинция и Мангышлакский хрусталеносный район. С мезозойской активизацией связывается также хрусталеносность Амгинского узла Южно-Якутской провинции. В соответствии с задачами настоящей работы (обобщение материалов по основным хрусталеносным регионам России и стран СНГ) нами рассматриваются лишь объекты Памирской, Верхоянской и Кавказской провинций.

8.1. Памирская хрусталеносная провинция

Памирская хрусталеносная провинция приурочена к высокогорной, собственно памирской части республики Таджикистан. Наиболее ранние сведения о развитии в её пределах хрусталеносных кварцевых жил получены (на основе информации местного населения) в 1932г. геологами В. А. Каргиным и А.А. Сауковым. В 1935г. сотрудниками АН СССР П.П. Чуенко и П.В. Мишным установлено наличие высококачественного пьезокварца в этих жилах, отмечены крупные масштабы хрусталепроявлений. Это послужило основой для постановки в 1936г (Баранов И.Г. и др.) специализированных исследований Памирского региона на пьезокварцевое сырьё, которые практически без перерыва продолжались до начала 80-х годов. Они привели к открытию 21 месторождения и более 170 заслуживающих внимания хрусталепроявлений. Освоение провинции проводилось силами экспедиции № 114 (позднее – ГРЭ «Памиркварцсамоцветы») 6-го ГУ МГ СССР. Наиболее существенный вклад в её изучение внесли в разное время геологи-поисковики и разведчики Никитин И.К., Соколов Я.Н., Морозенко Н.К., Канелькин М.Е., Петров П.Д., Майоров А.Н., Андреев Е.Г., Бархатов Б.П., Масленников В.А., Кузьмин Н.А., Казаков Д.Н., Хамидов М.Х., Кузнецов А.В., Орлов Ю.А., Мусаелян Т.А., Клишкин А.В., Астапов А.С., Тагиров Т.Н., Верхотуровы А.В. и В.Е., Шкаев В.Е., Комов И.Л. и др.

Изложенные в настоящей работе материалы базируются на обобщенных данных по провинции и отдельным месторождениям, подготовленных в 1983г (А.С. Астапов, А.В. Верхотурова, В.Е. Шкаев и др.) и в 1984г (А.С. Астапов, С.К. Герасимов, В.Е. Шкаев). Из этих же обобщений получены исходные варианты приводимых иллюстраций.

8.1.1. Геологические условия локализации хрусталеносных объектов

Памирская хрусталеносная провинция в основной своей части локализована в Центрально-Памирской структурно-фациальной зоне. Данная зона входит в Каракорумскую мезо-кайнозойскую складчатую систему. Эта долгоживущая геосинклинальная область завершила основной этап своего развития в конце мезозоя – начале кайнозоя и трансформировалась в складчато-глыбовое тектоническое сооружение (Бархатов Б.П. и др., 1964г.).

В границах Центрально-Памирской зоны выделено три хрусталеносных района – Ванч-Язгулемский, Музкол-Рангульский и Баргангский (А.В. Верхотурова и др., 1984г.). Основные промышленно важные месторождения горного хрусталя (11 из 21) сосредоточены в Ванч-Язгулемском районе, занимающем северо-западную часть зоны. Он приурочен к одноименному (Ванч-Язгулемскому) антиклинорию, геологические границы которого фиксируются с севера – Центрально-Памирским глубинным разломом; с северо-запада и юга – Ванчским и Язгулемским надвигами (рис. 48.).

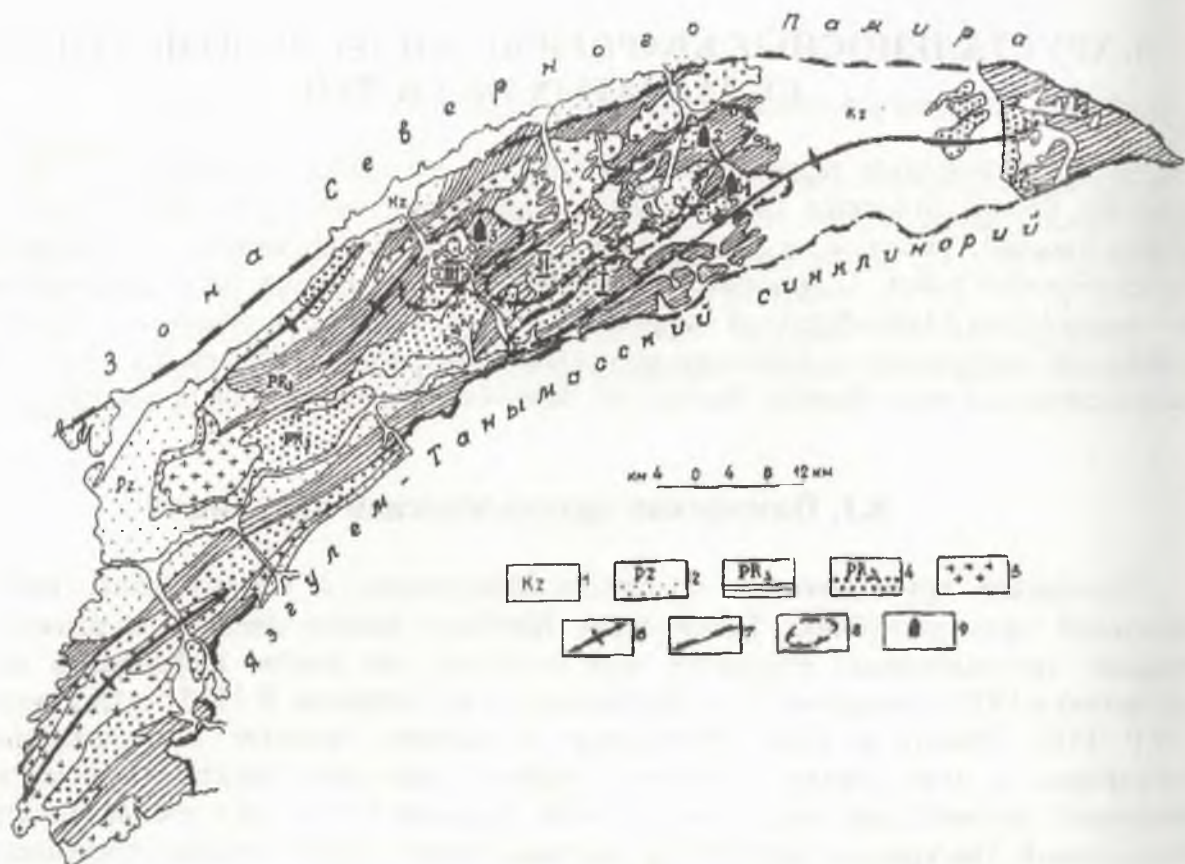


Рис. 48. Схематическая карта Ванч-Язгулемского хрусталеносного района (по материалам экспедиции «Памиркварцсамоцветы, 1984 г.)

1 – современные рыхлые отложения и ледники. 2 – палеозойский комплекс (Є-D): полосчатые мраморы известняки с прослоями сланцев и песчаников. Верхнепротерозойский комплекс (PR_3); 3 – кварцево-сланцевые, слоистые песчаники, алевролиты (язгулемская свита); 4 – кварцитовидные и полевопшат-кварцевые песчаники (барнаваджская, джамакская свиты). Палеогеновый гранитоидный комплекс: 5 – гнейсовидные гранитоиды, крупнозернистые порфировидные граниты. 6 – оси антиклинальных складок. 7 – краевые глубинные разломы. 8 – основные хрусталеносные зоны: I – Мазордаринская; II – Барнавадж-Абдукагорская. III – Лянгар-Гудживасская. 9 – Эталонные месторождения: 1 – Дальнее, 2 – Миона-Дара, 3 – Лянгар

В строении Ванч-Язгулемского антиклинория участвуют породы нижнего (PR_3) и верхнего (Є- S_1) структурных этажей. Нижний структурный этаж (PR_3) сложен метаморфизованными песчаниками, кварцитами, алевролитами и сланцами барнаваджской ((PR_3br)), язгулемской (PR_3yz) и джамакской (PR_3dz) свит. Верхний структурный этаж сложен терригенно-карбонатными отложениями зорабатской (Є- O_1zr) и козылдийской ($O_{2+3}kz$) свит, а также породами нижнего силура (S_1).

Магматические образования представлены докаледонским (амфиболиты и габбро-амфиболиты), киммерийским (габбро, габбро-диабазы) и альпийским (гранитоиды) комплексами.

Внутренняя структура Ванч-Язгулемского антиклинория достаточно сложна. Из наиболее крупных складок II порядка выделяются Ванчская и Мазордаринская антиклиналь, Язгулемская синклиналь и др. Складчатые структуры осложняются соскладчатыми и постскладчатыми разрывными образованиями. Постскладчатые нарушения представлены взбросо-сдвигами, сдвигами и сбросами. Взбросо-сдвиги и сдвиги наследуют швы соскладчатых разрывов и приконтактные срывы интрузивных массивов. Вдоль них проявились интенсивные процессы кремне-щелочного метасоматоза (скаполитизация, альбитизация, окварцевание и др.).

Кварцевые жилы (зафиксированное их количество – порядка 4130 ед.) отмечаются практически во всех коренных породах района. Однако основная масса кварцевых жил (82,7%) приурочена к отложениям докембрийского основания. Верхний структурный этаж и интрузивные породы локализуют соответственно 4,1% и 13,2% жильных образований. В отношении регионального контроля хрусталеносной минерализации отмечается следующее (А.В. Верхотурова, В.Е. Шкаев. 1984г);

- парагенетическая связь с гранитоидами альпийского возраста;
- локализация почти исключительно в породах докембрийского основания;
- приуроченность к положительным складчатым образованиям II-III порядка (до 99% всех хрусталеносных жил);
- связь полей концентрации хрусталеносных жил с постскладчатыми сбросами, являющимися основными рудоподводящими каналами хрусталеносной минерализации.

Неравномерное распределение контролирующих факторов определило концентрацию продуктивных объектов в нескольких хрусталеносных зонах (узлах), главными из которых являются Мазордаринская, Барнавадж-Абдукагорская и Лянгар-Гудживасская. Эти три зоны локализуют до 70% хрусталеносных проявлений и основные промышленные объекты Памирской провинции – месторождения Дальнее, Миона-Дара и Лянгар.

8.1.2. Месторождение Дальнее

Месторождение Дальнее находится в верховьях р. Ванч на высоте 4250-5100 м, в 22 км от грунтовой автодороги. Оно открыто в 1944г (Я.Н. Соколов и др.), и с 1945г до 70-х годов на нем проводились геологоразведочные и эксплуатационные работы. Приурочено к Мазордаринской хрусталеносной зоне, локализованной в одноименной антиклинальной структуре. Ядро антиклинали сложено породами барнаваджской свиты и прорвано поздними гранитоидами. Крылья складки сложены породами язгулемской свиты. Крайняя восточная часть структуры наиболее приподнята. В юго-западном направлении антиклиналь испытывает плавное погружение. Крайняя ЮЗ часть складки характеризуется резким воздыманием шарнира, строение её сильно усложняется. Здесь широко проявлены гранитоиды, щелочные метасоматиты, а внутреннее строение толщи верхнего протерозоя осложнено телами парагнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов и мраморов.

Хрусталеносная минерализация зоны проявлена в основном вдоль Мазордаринского сброса, где прослеживается цепочка сближенных жильных полей, локализующихся в крыльях антиклиналей III-IV порядка. Кварцевые жилы (в особенности – промышленно хрусталеносные) выполняют, главным образом, пологие трещины оперения сброса и сопровождающих его крутопадающих разрывов. Их концентрация отмечается в толще кварцитовидных песчаников джамакской свиты.

Месторождение Дальнее расположено в северо-восточной приподнятой части Мазордаринской антиклинали, в её северо-западном крыле. Оно приурочено к подвернутому крылу осложняющей антиклинальной складки III порядка. Площадь месторождения сложена осадочно-метаморфическими породами джамакской свиты, представленными песчаниками, кварцито-песчаниками, алевропесчаниками с подчиненными прослоями сланцев. Практически все кварцевые жилы месторождения локализованы в нижнем, кварцито-песчаниковом горизонте свиты. Слагающие его пласты кварцито-песчаников достигают 30 м мощности, разделяющие их сланцы и алевропесчаники – не более 1 м. Все промышленно хрусталеносные жилы месторождения залегают во II пачке горизонта, сложенной массивно-слоистыми породами. Эти породы перекрываются пачкой переслаивания, в свою очередь ограничиваемой верхним сланцевым горизонтом – потенциальным экранирующим блоком. Развитые на площади месторождения изверженные породы – гранитоиды и диоритовые

порфириты — слагают мелкие тела и дайки, не оказывающие какого-либо влияния на размещение продуктивной минерализации.

Хрусталеносные жилы размещены на площади месторождения неравномерно, с образованием двух жильных узлов (участков) — сая «Недоступный» и сая «Широкий». Эти участки тяготеют к поперечно-секущим тектоническим зонам, образованным кулисами крутопадающих поперечных и диагональных сбросо-сдвиговых трещин. Общая структурно-минерагеническая схема становления минерализации представляется в следующем плане:

- раствороподводящие диагональные трещины, связанные с основным разломом;
- растворораспределяющие поперечные, иногда согласные трещины;
- хрустало локализирующие обратнотупающие пологие трещины.

В целом месторождение вытянуто согласно простиранию общей структуры с С-В на Ю-З на 1200 м, при ширине до 300-400 м. Хрусталеносная минерализация развита до глубины 120 м в виде «потока», восстающего на Ю-З под $20-22^\circ$. При этом наиболее хрусталеносна юго-западная, фронтальная часть этого «потока».

На месторождении Дальнее выделено более 60 кварцевых жил. В основном это мелкие,

слабо хрусталеносные тела до 15-20 м по наибольшему измерению, простой линзовидной или плитообразной формы, как секущего, так и согласного залегания. На пересечении нескольких систем жило-вмещающих трещин фиксируются зоны дробления, брекчирования. Контакты жил резкие; околожилные изменения проявлены в виде слабой альбитизации и окварцевания. Жильный кварц — массивный крупнозернистый, загрязненный в различной степени железистыми карбонатами, гидроокислами Fe и Mn, иногда — серицитом и турмалином. Жилы данного типа содержат лишь единичные остаточные полости (занорыши) с некондиционными кристаллами горного хрусталя.

Практическую ценность на месторождении представляют жилы усложненной формы типа штокверковых зон и обратнотупающих ступенчатых тел, сложноветвист-

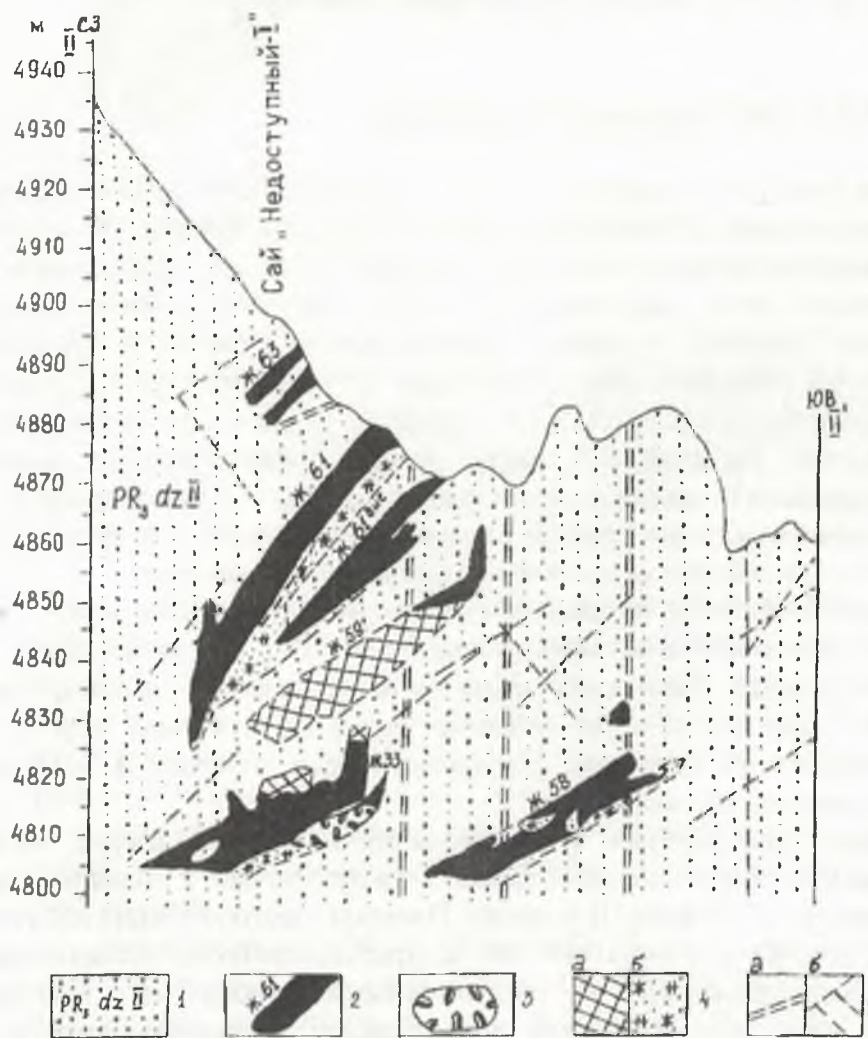


Рис. 49. Месторождение Дальнее. Разрез узла «Недоступный» (по Герасимову С.К., 1984г.)

- 1 — кварцитовые песчаники с прослоями сланцев. 2 — кварцевые жилы. 3 — хрусталеносные полости. 4 — железистый карбонат: а) в массе, б) вкрапленность. 5 — тектонические нарушения: а) крутопадающие, продольные, поперечные и диагональные; б) прочие системы трещин

их образований. Обычно они образуются сочетанием тел нескольких простых форм – кусковых и пластовых, осложняющихся многочисленными камерными раздувами и трещинами (рис. 49.), с преобладанием пологих согласных составляющих. Размеры жил достигают 72х66х18 м (в среднем 43 м по падению, 35 м по простиранию, 5 м мощностью).

Сложены жилы этого типа в основном шестоватым, часто – полупрозрачным кварцем с примесью серицита, барита, карбонатов. Околожилные породы лежащих зальбандов и прилегающих зон выклинивания превращены в рыхлую альбит-серицит-кварцевую породу, с карбонатом и турмалином. Мощность таких зон изменений достигает под раздувами 3-10 м. Зальбанды несут следы слабого окварцевания и серицитизации.

Жилы сложной морфологии являются в своем большинстве хрусталеносными, хотя промышленная минерализация установлена только на 6 жильных телах. Хрусталеносность связана с наложенными полостями растворения, которые приурочиваются главным образом к камерным раздувам, местам сочленения пластовых и обратнпадающих тел, сланцевым и сланцевым экранам. Форма полостей – чаще всего трубообразная, объёмы в среднем не более 100 м³, максимальные – до 500 м³. Полостные зоны вдоль контролирующих локальных структур достигают объёма 250 м³ (своеобразные "рудные столбы").

Масса гнездового заполнения представлена кристаллами горного хрусталя, щебенкой горного кварца и вмещающих пород (кварцитопесчаников), карбонатами, баритом, серицитом, турмалином, а также льдом. Кристаллы горного хрусталя – как правило бесцветные, гексагонального или тригонального облика, среднепризматические. Размеры кристаллов – средние 17х7 см, максимальные – 40х20 см. Они как правило – беспрозрачные, сравнительно слабо пораженные внутренними дефектами (преимущественно трещиноватость, замутненность ГЖВ). Выход пьезокварца составляет около 2% от извлекаемого кристаллосырья. Сортность сырья невысокая (табл. 8.1.).

Таблица 8.1.

Сортность извлекаемого сырья на месторождениях Памирской провинции

Вид и сорт полезного ископаемого	Месторождение		
	Дальнее	Миона-Дара	Лянгар
Горный хрусталь для плавки (%):			
I сорт	50	50	
II сорт	50	50	
III сорт	-	-	
Пьезокварц (%):			
Экстра	0,4	4,6	1,0
Высший	6,1	14,8	8,0
I сорт	31,1	40,8	46,0
II сорт	62,4	39,8	45,0
III сорт	-	-	-
Данные эксп. "Памиркварцсамоцветы" 1983г (А.С. Астапов, А.В. Верхотурова)			

По своим масштабам месторождение Дальнее является средним хрусталеносным объектом, с существенно пьезокварцевой специализацией. Горный хрусталь для плавки (при общих запасах на уровне первых десятков тонн) является по сути лишь попутным компонентом, при высокой его насыщенности химическими примесями (табл. 8.2.).

Концентрация основного полезного компонента – пьезокварца – в продуктивной (жильной) породе составляет $0,080 \text{ кг/м}^3$, что является весьма высоким показателем среди хрусталеносных месторождений. Ресурсы месторождения далеко не исчерпаны (табл. 8.2). Однако в связи с рассредоточенностью промышленной минерализации по единичным кварцевым жилам, относительно высоким $K_{\text{вскрыши}}$ для всех участков месторождения и сложными географо-экономическими условиями общая рентабельность его эксплуатации невысока.

Таблица 8.2

Содержание основных элементов-примесей в кристаллах горного хрусталя Памирской провинции (по И.Л. Комову, 1973г.; В.Е. Шкаеву, 1978г.)

№ № пп	Наименование объектов	Содержание ЭП, в $10^{-4}\%$			
		Al	Na	Li	Fe
1	Миона-Дара (8 проб)	5,4	30	0,6	
2	Лянгар (3 пробы)	14,4	20	0,6	
3	Дальнее: 1973 г (5 проб)	12,3	20	0,4	
	1978г (5 проб)	6,2	14	0,4	0,2
4	Жильный кварц месторождения Дальнее	9,1	24,0	0,6	2,1

Таблица 8.3

Основные технико-экономические характеристики месторождений Памирской провинции

№ № пп	Наименование показателей	Месторождения		
		Дальнее	Миона-Дара	Лянгар
1	Запасы пьезокварца, кг			
	а) отработанные	1696		2100
	б) числящиеся на балансе	3536		3120
2	Прогнозные ресурсы пьезокварца, кг	3391		835
3	Выход кристаллосырья, кг/м^3 (на жильную массу):	4,0	6,6	2,2
4	Содержание пьезокварца, кг/м^3 (в моноблоках):			
	а) фактическое	0,080	0,098	0,120
	б) минимальное промышленное	0,075	0,054	0,028
5	Содержание горного хрусталя для плавки, кг/м^3	1,3	2,1	0,7
6	Коэффициент кварценосности жильных зон	0,04-0,06	0,11-0,16	0,6
7	Минимальная промышленная мощность жильных тел, м		0,8-1,0	11,5
8	Предельный коэффициент вскрыши	1,6	5,2	
Данные эксп. "Памиркварцсамоцветы" 1983г (А.С. Астапов, А.В. Верховурова и др.)				

Перспективы отработки месторождения в сложившихся условиях (отсутствие спроса на природный пьезокварц) могут быть в какой-то мере связаны лишь с извлечением коллекционного сырья (монокристаллы, друзы, сростки и т.д.).

8.1.3. Месторождение Миона-Дара

Месторождение Миона-Дара, известное как проявление с 1937г (Никитин И.К.) и определившееся как промышленный объект в 1943г (Я.Н. Соколов), является наиболее крупным источником пьезосырья в границах Памирской провинции. Оно залегает в сложных условиях Горного Памира (абс. отм. 3200-4100 м), хотя относится к сравнительно легко доступным из-за близости автодороги (7 км). Это обеспечило его достаточно интенсивную разведку и эксплуатацию (с 1943г до 80-х годов).

В геологическом плане месторождение Миона-Дара входит в число объектов Барнавадж-Абдукагорской хрусталеносной зоны, локализуемой в одноименной антиклинальной структуре. Антиклинальная складка протягивается согласно с простираем главных структур района с Ю-З на С-В более чем на 30 км. Ядро складки сложено породами барнаваджской свиты, на крыльях обнажаются отложения язгулемской свиты. Для зоны характерно четковидное расположение линзовидных блоков жестких кварцитовидных песчаников, залегающих в пластичной среде вмещающей карбонатно-сланцевой толщ. Линзы-блоки совпадают с участками брахиантиклинальных осложнений общей структуры, расчлененной на отдельные локальные выступы поперечными перегибами шарнира и окаймляющими их соскладчатыми разрывами. С подобными линзами-блоками связаны проявления позднего гранитоидного магматизма, интенсивность которого возрастает к С-В, в направлении воздымания общей структуры.

Соответственно строению вмещающей антиклинали, хрусталеносная зона имеет узловое размещение хрусталеносных полей и месторождений. Каждый из таких объектов отвечает линзе-блоку кварцитовидных песчаников барнаваджской свиты или тектоническому блоку-фрагменту складки. Узлы разделены толщами разновозрастных сланцево-карбонатных пород. Эти пластичные породы, по мнению исследователей района (А.С. Астапов, В.Е. Шкаев, В.В. Верхотурова, 1983г), перекрывая жесткие кварцитопесчаники, сыграли важнейшую роль генеральных экранов для хрусталеобразующих растворов.

Общий контроль минерализации зоны остаётся за наиболее крупными разрывами постскладчатого заложения. Основную контролирующую роль играет Мионадаринский разлом и оперяющие его ветви, секущие толщу кварцитовидных песчаников.

В целом для Барнавадж-Абдукагорской зоны характерны хрусталеносные жилы и жильные зоны сложной формы. На крутых крыльях локальных структур это в основном пологопадающие камерные жилы, на пологих крыльях и в сводах — согласные жилы экранирования и перистые жилы, в зонах оперения основных разломов — штокверкоподобные тела.

По масштабам развития хрусталеносной минерализации данная зона является наиболее важной в границах района. Здесь локализовано более 25% хрусталеносных жил, обеспечивавших более 1/3 добычи пьезокварцевого сырья провинции. В границах зоны выделено и месторождение Миона-Дара, приближающееся по своим масштабам к крупным пьезокварцевым объектам. Оно расположено в зоне периклинального замыкания Мионадаринской брахиантиклинали IV порядка. Здесь широко развиты древнейшие для района осадочно-метаморфические толщи, прорванные Ванчским гранитоидным массивом. Конкретно это кварциты, песчаники, алевропесчаники и сланцы барнаваджской свиты. При этом практически все жильные образования локализируются в кварцитовидных песчаниках и, частично, кварцитах средней подсвиты. Продуктивная минерализация сосредоточена (на 75%) в толще косослоистых полевошпат-кварцевых и грубослоистых кварцитовидных песчаников с редкими прослоями алевролитов и сланцев.

Структура месторождения определяется сочетанием локализующей брахиантиклинали (линзовидного блока) с осложняющими складками и разрывами различного порядка. В целом месторождение приурочено к участку замыкания «блока» и его пологому юго-восточному крылу. Отличительной чертой месторождения является общее пологое или

умеренно-наклонное залегание вмещающих толщ ($\Delta 5-30^\circ$ на участке периклина. и $\Delta 5-50^\circ$ в крыле структуры), осложненное протяженными флексурными перегибами субсогласной ориентировки (рис. 50.).

Положение месторождения в общей складчатой структуре дополнительно контролируется Мионадаринским разломом. В восточной части — это развивающийся по контакту продуктивной барнаваджской и экранирующей язгулемской свиты. К югу он проявляется как сбросо-сдвиг, срезающий крыло антиклиналя.

Распределение минерализации на площади месторождения определяется Северным разломом, приуроченной к шарниру складки, и сопутствующими системами продольных и диагональных трещин (рис. 51.). Общая структурно-минералогическая схема минерализации подобна наблюдаемой на месторождении Дальнее:

- рудоконтролирующая структура — Северная ветвь Мионадаринского разлома;
- рудораспределяющие — продольные трещинные зоны на затухании структуры;
- рудолокализирующие — согласные осложняющие трещины отслаивания (?).

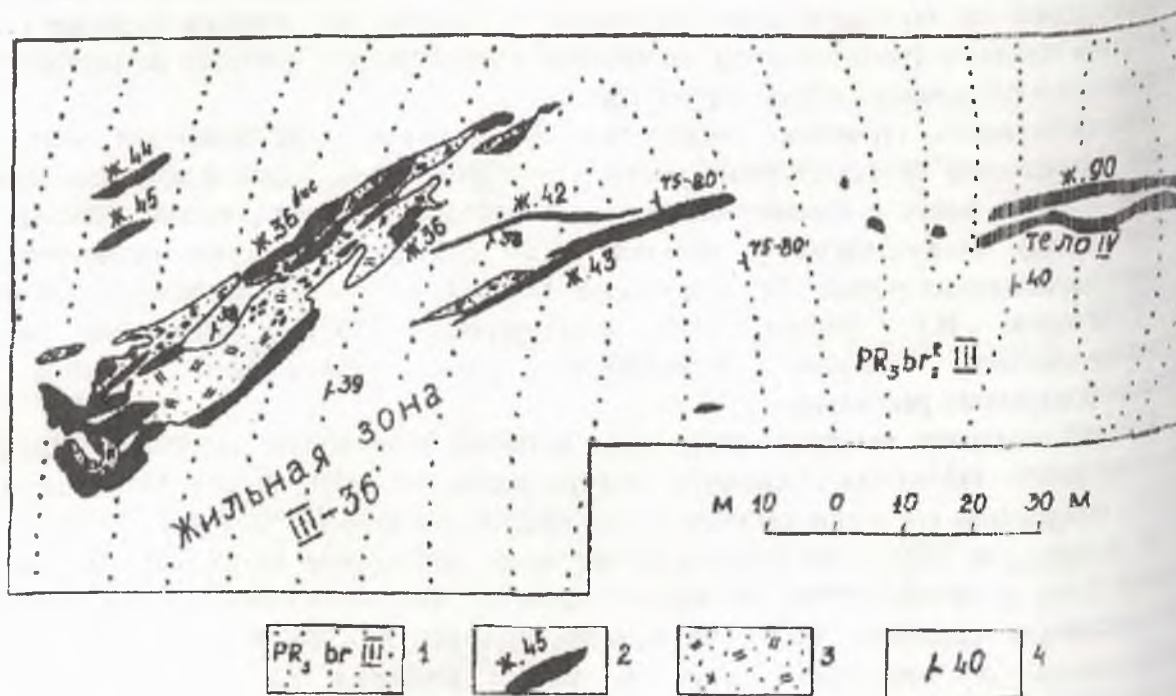


Рис. 51. Месторождение Миона-Дара. Геолого-структурный план жильной зоны 3-36 (по Гайдаренко Т.Л. и др., 1984г.)

1 — кварцитовидные песчаники с прослоями сланцев. 2 — кварцево-жильные тела. 3 — зоны гидротермальных изменений (серицитизация). 4 — элементы залегания пород

Из трех основных узлов месторождения в полном объеме данная схема прослеживается по узлу №4 (Ю-З часть месторождения). Он приурочен к участку затухания Северной ветви представленной здесь серией продольных трещинных зон. В границах узла в равной степени проявлены диагональные и согласные трещины, обусловившие высокую степень гидротермальной активности и интенсивности минерализации, в том числе и хрусталеобразования. Это определило значение узла № 4 как основного промышленного объекта в контурах месторождения.

В целом месторождение вытянуто согласно вмещающей структуре на — 2 км. ширине минерализованного блока около 0,5 км. Хрусталеносная минерализация прослеживается по вертикали на 200 м в виде «потока», восстающего с С-В на Ю-З $\Delta 20-25^\circ$. Средняя мощность «потока» — около 120 м. При этом практически нехруст

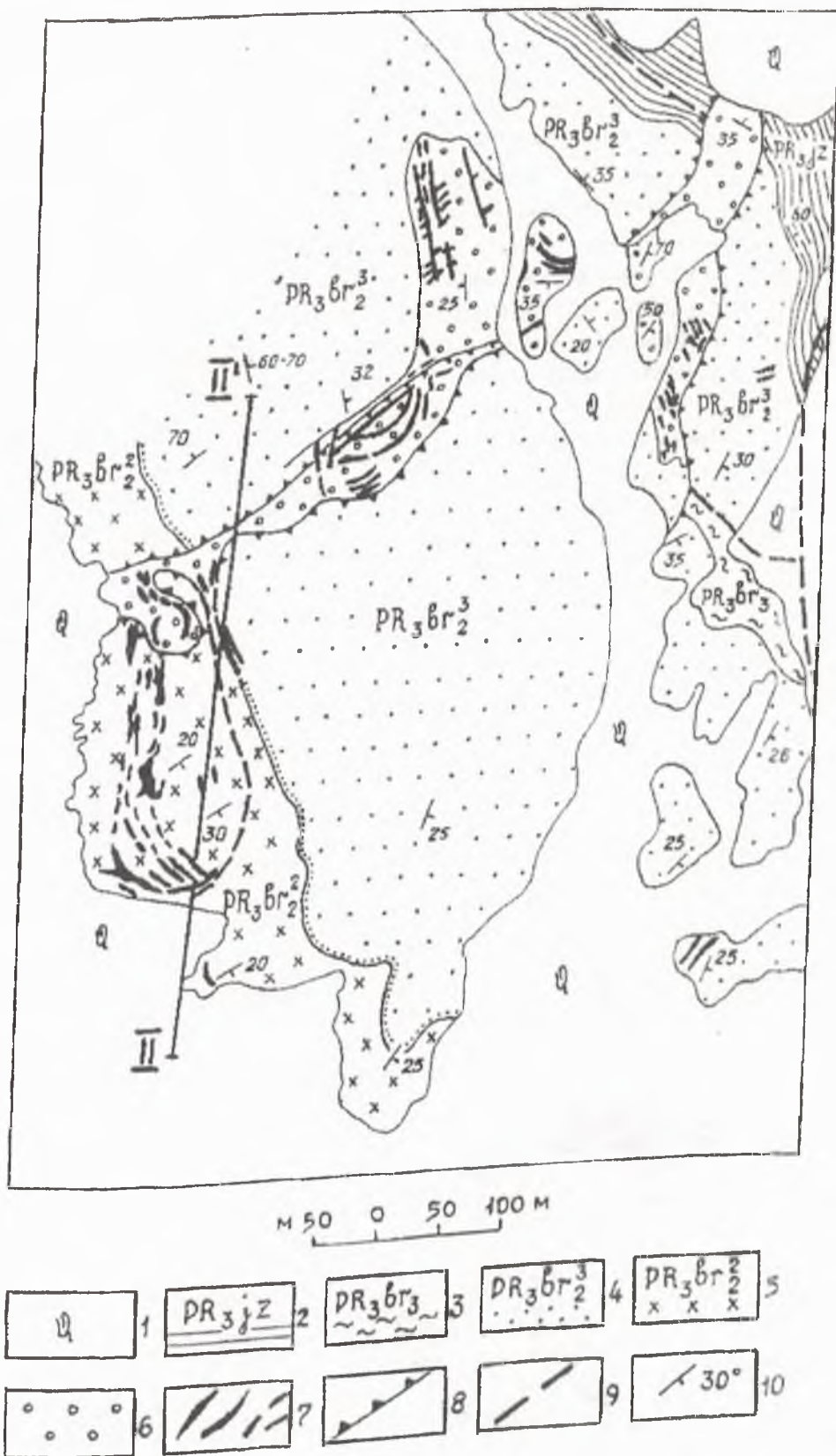


Рис. 50. Геолого-структурная карта месторождения Миона-Дара (по Астапову А.С., 1984г.)

1 – верхнечетвертичные отложения (делювий-пролювий). 2 – известковистые, углесто-глинистые сланцы. 3 – кварц-биотитовые, мраморы, прослои песчаников (язгулемская свита). 4 – кварциты, кварцито-песчаники (верхний горизонт верхней подсвиты); 5 – грубо-слоистые песчаники с прослоями сланцев (средний горизонт средней подсвиты); 6 – приразрывные зоны развития карбонатных и скаполит-карбонатных пород. 7 – кварцевые жилы. 8 – хрустале-контролирующие разрывы. 9 – кварц-подводящие разрывы. 10 – элементы залегания пород

носный узел (№2) является его корневой, слабо продуктивной частью, а жильный узел №4, фронтальный, представляет наиболее продуктивный его фрагмент.

По своему морфологическому типу, по классификации 1985г [10], месторождение Миона-Дара (вернее — его продуктивные узлы) является зоной развития обособленных жильных тел (тип III подтип 3). Всего в его границах насчитывается 133 жилы, из которых 78 являются хрусталеносными. По морфологическим особенностям они (как и на месторождении Дальнее) относятся к 2 типам.

Кварцевые жилы простой формы (группа I) приурочены к продольно-и диагонально-секущим крутопадающим трещинам. Форма их — линзовидная и плитообразная осложняющаяся на пересечениях зонами дробления (с кварцевым «цементом»). Размеры жил — до 100х3х60 м (обычно меньшие). Контакты жил резкие, околожилные изменения слабо проявлены (альбитизация, окварцевание пород). Жильный кварц крупнозернистый массивный, редко — шестоватый; с карбонатом, гидроокислами Fe, иногда — с серицитом. Горный хрусталь проявлен слабо, в мелких линзовидных и изометричных заворышках остаточного типа. Кондиционные на пьезокварц кристаллы редки.

Кварцевые жилы сложной формы (группа II), относимые Т.Н. Тагировым к гидротермально-метасоматическим образованиям, подразделяются на согласные жилы

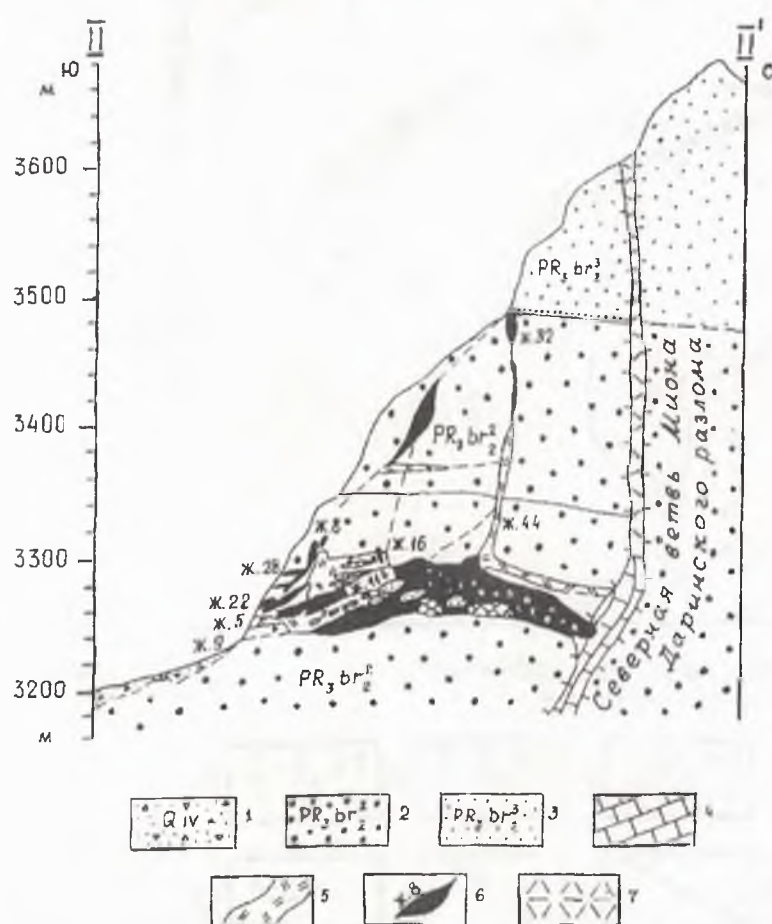


Рис. 52. Месторождение Миона-Дара. Разрез жильного узла №1 (по С.К. Герасимову и др., 1984г.)
1 — верхнечетвертичные отложения. Барнаваджская свита. Средняя подсвита. Верхний горизонт. 2 — светло-серые и белые кварциты, кварцитопесчаники. Средний горизонт. 3 — грубозернистые полевошпат-кварцевые песчаники с прослоями сланцев и алевролитов. Гидротермально-метасоматические породы. 4 — кварц-карбонат-альбитовые породы. 5 — кальцит-серицит-альбитовые породы. 6 — кварцевые жилы и прожилки. 7 — зоны интенсивного брекчирования

экранирования, перистые и лестничные жилы. Первые локализуются под экранирующими пластами и прослоями сланцев и рассланцованных песчаников. Перистые жилы развиваются по бокам жил I группы или по контактам подводящих трещин. Лестничные жилы образованы сочетанием мелких секущих и пластовых тел. Максимальные размеры жил этой группы — до 100х4х85 м в структурах экранирования. Жилы II группы сложены полупрозрачным и прозрачным массивным и гигантошестоватым кварцем с включениями карбонатов. Шесты — до 1,5х0,3 м размерами, ориентированы перпендикулярно к залегающим. По висячим контактам вдоль жил фиксируются зоны окварцевания и альбитизации, с лежащего бока интенсивно проявленные зоны каолинизации, серицитизации и карбонатизации. Жилы группы II являются главными локализаторами хрусталеносной минерализации (рис. 52.).

Хрусталеносные полости — в основном наложенного типа.

связанные с кварцевыми жилами, относятся к полостям растворения. В жилах экранирования они концентрируются в их висячем боку (обычно — на участках малорадиусных изгибов), образуя своеобразные хрусталеносные «столбы». В перистых и лестничных жилах полости развиты чаще всего в согласных апофизах. Форма полостей — округло-изометричная, иногда — трубовидная, с осложнениями.

Объём полостей — от занорышей 0.1 м^3 до погребов в $40-50 \text{ м}^3$, чаще всего встречаются гнезда объёмом $0.5-1.0 \text{ м}^3$. Полостное выполнение — кристаллы горного хрусталя, каолин, серицит, анкерит, гидроокислы Fe, со слабой цементацией.

Кристаллы, как правило, бесцветные, слабо дымчатые, коротко-среднепризматические, размеры — до 1.5 м по оси L_3 , до 0.4 м по оси L_2 . Наиболее обычны индивиды длиной $15-20 \text{ см}$, весом $0.2-1.0 \text{ кг}$. Преобладающие дефекты кристаллосырья — азиоориентированные трещины, участки замутнения ГЖВ, двойники бразильского типа. Несмотря на менее качество добываемого сырья очень высокое — выход пьезокварца из кристаллосырья около 1.5% , соотношение с плавочным сырьём — порядка $1:22$. Содержание безокварца в продуктивных жилах — в среднем 0.1 кг/м^3 . Основную промышленную ценность в отношении пьезокварца представляют согласные жилы экранирования (89% обычно), меньшую — перистые (6.6%) и лестничные жилы (4.4%).

В целом для месторождения развитие продуктивной (промышленно-хрусталеносной) минерализации неравномерно. Для жильного узла № 2 характерны слабохрусталеносные жилы I группы. Для жильного узла № 1 отмечается и развитие перистых жил (II группа), со слабой промышленной минерализацией. Для жильного узла № 4 характерны высокохрусталеносные жилы II группы. Таким образом, по восстанию хрусталеносного блока устанавливается постепенная смена простых жильных форм более сложными, с ростом общей хрусталеносности месторождения. При этом намечается (по И.Л. Комову, 1978г) своеобразная вертикальная зональность околожильных изменений и связанных с ними минералогических — геохимических ореолов. Преобладающие типы изменений проявляются снизу вверх в виде колонки: альбитизация → серицитизация → каолинизация. Соответственно изменяется и качество сырья, с увеличением выхода пьезокварца в условиях развития околожильной серицитизации — каолинизации вмещающих пород.

Как промышленный объект Миона-Дара (с учетом подсчитанных запасов и прогнозных ресурсов) приближается к крупным пьезокварцевым месторождениям. Технико-экономические характеристики его позволяли вести рентабельную отработку даже в сложных условиях Памирского высокогорья (табл. 8.2). Однако из-за отсутствия спроса на природный пьезокварц планомерная отработка месторождения прекращена в конце 80-х годов.

8.1.4. Месторождение Лянгар

Месторождение Лянгар, являющееся по своим масштабам средним промышленно-хрусталеносным (пьезокварцевым) объектом, открыто в 1937 году (И.К. Никитин). Оно разведывалось и отработывалось с перерывами вплоть до 1981 года. За это время на месторождении добыто порядка 2100 кг пьезокварца, хотя запасы его промышленных блоков далеко не исчерпались (табл. 8.2.).

По своему геологическому положению месторождение входит в Лянгар-Гудживасскую хрусталеносную зону, приуроченную к Лянгар-Гудживасской антиклинали (осложнению тектонической структуры). Основная часть антиклинали, вытянутой в северо-восточном направлении ($30-50^\circ$), сложена метаморфическими породами барнаваджской свиты (PR_3br).

На её северном погружении обнажаются породы язгулемской свиты (PR_{3yz}), прорванные Ванчским гранитоидным массивом. Блок пород барнаваджской свиты (свод антиклинали) ограничен серией взбросо-сдвигов, унаследовавших ориентировку складчатых разрывов. Вдоль нарушений интенсивно проявлены процессы кремне-щелочного метасоматоза (в основном — альбитизация пород). Хрусталеносная минерализация контролируется главным образом Лянгарским сбросом, пересекающим ядро складки в зоне её С-погружения. С этим малоамплитудным нарушением структурно связано и месторождение Лянгар (рис. 53.).

Жильное поле Лянгарского месторождения сложено метаморфическими породами двух толщ (подсвит) барнаваджской свиты. Верхняя подсвита (в крыльях антиклинали) представлена тонкоплитчатыми, рассланцованными песчаниками, алевролитами и кварцевыми сланцами. Она перекрывается отложениями язгулемской свиты. Средняя подсвита (ядро антиклинали) сложена грубослоистыми, массивными полевошпатными кварцевыми песчаниками с прослоями кварцево-слюдистых сланцев. Мощность подсвиты 500-600 м. Отдельные её блоки прорваны дайками гранитных порфиров и аплитов.

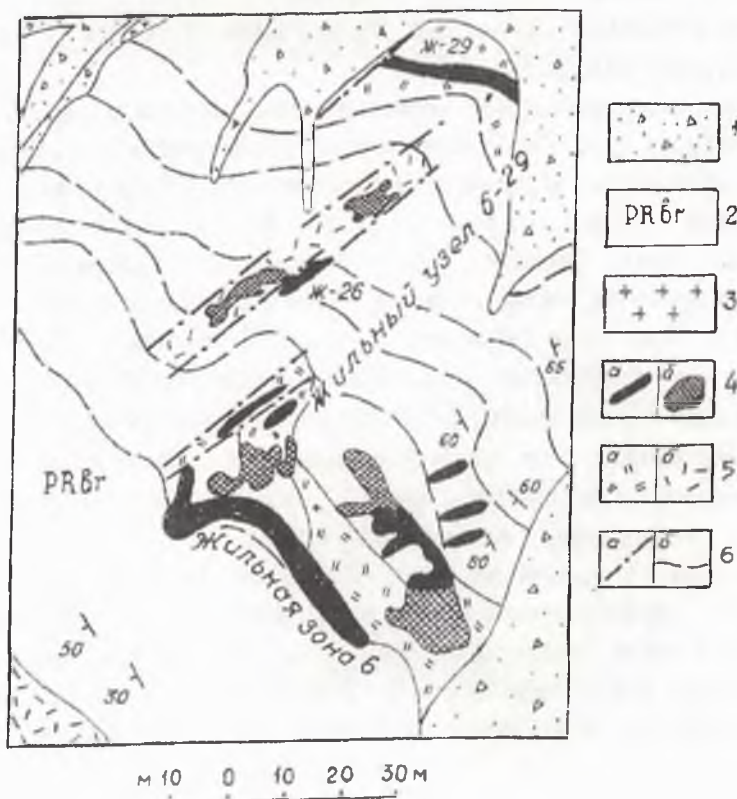


Рис. 53. Месторождение Лянгар, геологический план жильного узла 6-29 (по В.И. Френкелю, 1984г.)

1 — четвертичные отложения. 2 — песчаники, кварцитовидные песчаники с прослоями сланцев. 3 — дайки аплитов и гранит-порфиров. 4 — а) кварцевые жилы, б) жильные зоны. 5 — гидротермальные изменения: а — серицитизация, б — альбитизация. 6 — тектонические нарушения: а — крутопадающие, б — пологие

ной хрусталеносной минерализации.

2. Жильные тела в зоне разлома, выполняющие межблоковые пустоты брекчии. Они также слабо хрусталеносны.

3. Кварцевые жилы всякого блока разлома, являющиеся главными концентраторами горного хрусталя.

Все хрусталеносные жилы Лянгарского месторождения сконцентрированы в песчаниках средней подсвиты. Толща более пластичных пород верхней подсвиты, где проявлены линейно-разрозненные слабо хрусталеносные кварцевые тела, играет видимо лишь роль перекрывающего экрана (совместно с язгулемской толщей).

Зона Лянгарского разлома на участке месторождения характеризуется интенсивным брекчированием и гидротермальной переработкой пород, обусловившими развитие здесь типичной брекчии с кварцево-альбитовым или кварц-карбонатным цементом. По соотношению элементов нарушения выделяется три участка концентрации кварцево-жильных гел:

1. Кварцевые жилы лежащего бока разлома. Они выполняют преимущественно секущие трещины в породах верхней подсвиты и не несут промышлен-

Жилы лежачего бока и зоны разлома аналогичны в целом жилам I группы месторождений Дальнее и Миона-Дара, хотя в ряде случаев и характеризуются (в зоне брекчии) относительно сложными формами. По количеству эти жилы наиболее многочисленны (86% от выделенных на месторождении 88 тел), однако они концентрируют лишь 6% кондиционного кристаллосырья.

Жилы сложной морфологии (ветвистые и усложненно-линзовидные тела), концентрирующиеся висячем боку Лянгарского разлома на юго-восточном фланге поля, являются главными локализаторами хрусталеносной минерализации. Для них характерны извилистые очертания, наличие камерных раздувов или обособленных полостей. Размеры их невелики – длина до 30 м, мощность до 2 м. Сложены жилы молочно-белым крупнозернистым кварцем массивной или шестоватой текстуры. Вблизи хрусталеносных полостей кварц приобретает друзовое строение, становится полупрозрачным (до прозрачного). Тип хрусталеносной минерализации – многополостной, продуктивные гнезда и погребя являются типичными полостями растворения. Минеральный состав жил и гнезд, характер кристаллосырья по сути аналогичны наблюдаемым на других месторождениях Памира. Специфической особенностью жил является наличие доломитовой оторочки, которая может служить типовым признаком хрусталеносных образований, а также развитие хлорита совместно с серицитом в околожилных ореолах. Жилы данной группы характеризуются высоким уровнем хрусталеносности и повышенным качеством кристаллосырья. Содержание кристаллосырья – порядка $2,0-2,5 \text{ кг/м}^3$ на жильную массу, при содержании пьезокварца около $0,12 \text{ кг/м}^3$ (выход – более 5%). Сортность сырья высокая (табл. 8.1.).

Основные технико-экономические характеристики месторождения приведены, наряду с данными по месторождениям Дальнее и Миона-Дара, в табл. 8.2. Из их анализа вытекает, что месторождение Лянгар относится к разряду высокорентабельных хрусталеносных объектов. Запасы месторождения, однако, к сегодняшнему периоду в значительной степени отработаны (на 40%). Перспективы расширения базы месторождения за счёт выявления новых тел и участков минимальны (прогнозные ресурсы – не более 13% общих ресурсов сырья).

Общие перспективы Памирской провинции в геологическом плане далеко не исчерпаны. Основные работы на горный хрусталь за все предшествующие годы были сосредоточены в границах Ванч-Язгулемского района, в то время как другие районы (Музкол-Рангульский, Бартангский) осваивались сравнительно слабо. Однако условия проведения ГРП и общая конъюнктура с природным пьезокварцем исключают возобновление каких-либо работ в границах провинции.

8.2. Верхоянская хрусталеносная провинция

Верхоянская провинция охватывает площадь Верхоянского хребта и его юго-восточного продолжения (хребет Сетте-Дабан). Это огромная территория, протягивающаяся от берегов Северного Ледовитого океана вдоль правобережья рек Лены и Алдана более чем на 1500 км. Северная её часть, приуроченная к меридиональному Орулганскому хребту (составной части Верхоянской системы), выделяется как Орулганский район; восточная-юго-восточная оконечность, субширотной ориентировки, фигурирует под наименованием Томпонской зоны. Это суровая полярная горно-таёжная и горно-тундровая страна, с расчленённым высокогорным рельефом. Высотные отметки – в интервале 900-2200 м; более пониженные участки фиксируются в речных долинах (как правило – поперечных) притоков р. Лены – рек Джарджан, Сетачан, Собопол, Томпо и др. Регион относится к одному из наименее населённых и освоенных даже в масштабах Республики Якутии – редкие посёлки

расположены вдоль р. Лены (в т.ч. г. Жиганск); на территории провинции они практически отсутствуют. Транспортные артерии – р. Лена и отдельные наиболее крупные её притоки, а также временные вездеходные дороги.

В качестве хрусталеносной территории Верхоянье известно с 1935 года, когда Г.И. Николаевым при проведении геолого-поисковых работ были обнаружены кварцевые жилы с хрусталеносной минерализацией. Последующие геолого-поисковые работы подтвердили широкое развитие этих образований (Н.П. Щербак, 1949г, С.А. Чиликин, 1950г; Л.П. Смирнов, 1951г). В 1952-55гг. на площади Томпонской зоны проводились специализированные работы на горный хрусталь (Алданское РайГРУ).

В границах Орулганского района развитие хрусталеносных кварцевых жил установлено в результате поисково-съёмочных работ НИИГА в 1955-60гг. (В.В. Виноградов, Ф.А. Фадеев, В.С. Аплонов и др.). Основные специализированные работы на горный хрусталь выполнялись геологами экспедиции № 109 6 ГУ МГ СССР в 1961-67гг., проводившими как поиски, так и разведку хрусталеносных объектов обеих площадей (Орулганской и Томпонской). Наиболее значительный вклад в изучение провинции как второго, после Южно-Якутской, хрусталеносного региона Якутии внесли Л.Б. Зафрин, В.П. Ставровский, В.М. Гуревич, В.И. Саврасов, Г.П. Пацкевич, Ю.А. Калинин, Б.В. Балашов и др. В результате работ экспедиции определены границы провинции и основных хрусталеносных узлов, изучено её геологическое строение, закономерности развития продуктивной минерализации, опробованы наиболее перспективные площади и проведены поисково-оценочные – разведочные работы на наиболее значительных хрусталепроявлениях.

8.2.1. Общая характеристика провинции

В строении провинции принимают участие осадочные и частично – метаморфические породы протерозоя, палеозоя и мезозоя, а также кайнозойские образования (Саврасов В.И. Пацкевич Г.П. и др., 1966г.). Протерозой представлен метаморфизованными песчаниками, аргиллитами и доломитами (известняками) синия, обнажающимися в крайней северо-западной части Верхоянского хребта (Sn). Палеозойские породы представлены отложениями всех систем, от кембрия до перми включительно. Нижне-средне-палеозойские толщи, от кембрия до девона, пользуются ограниченным распространением, в северо-западной части и на юго-восточном окончании провинции (хр. Сетте-Дабан). Это карбонатные толщи, с редкими пластами обломочных пород, кембрийской системы (всех её отделов); мергелистые отложения ордовика, доломитизированные известняки силура, известняки и глинистые сланцы девона. Они обнажаются в ядрах антиклинальных складок разного порядка, имеют субсогласное во всем разрезе залегание. Верхнепалеозойские отложения (карбон-пермь) пользуются широким распространением на всем протяжении Верхоянского хребта, выполняя ядра основных антиклинальных структур (Орулганской и Западно-Верхоянской). Они представлены в основании разреза флишеидными толщами (песчаники, алевролиты, реже аргиллиты), мощным комплексом терригенных пород C_2 , алевролито-песчаниками C_3 , нерасчленёнными толщами C_3-P_1 ("тиксинская свита", из чередующихся разнотипных терригенных пород). Верхняя часть разреза сложена песчано-сланцевыми отложениями верхоянского комплекса перми (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, в том числе углистые). Мезозойские комплексы представлены отложениями триаса, юры и мела. Триасовые толщи составляют западное и восточное крылья Верхоянского мегантиклинория и представлены чередованием конгломератов-песчаников с алевролитами и, реже, глинистыми сланцами, аргиллитами, мергелями. Юрские отложения наиболее широко развиты на западном склоне Верхоянского хребта, где представлены кварцевыми песчаниками, конгло-

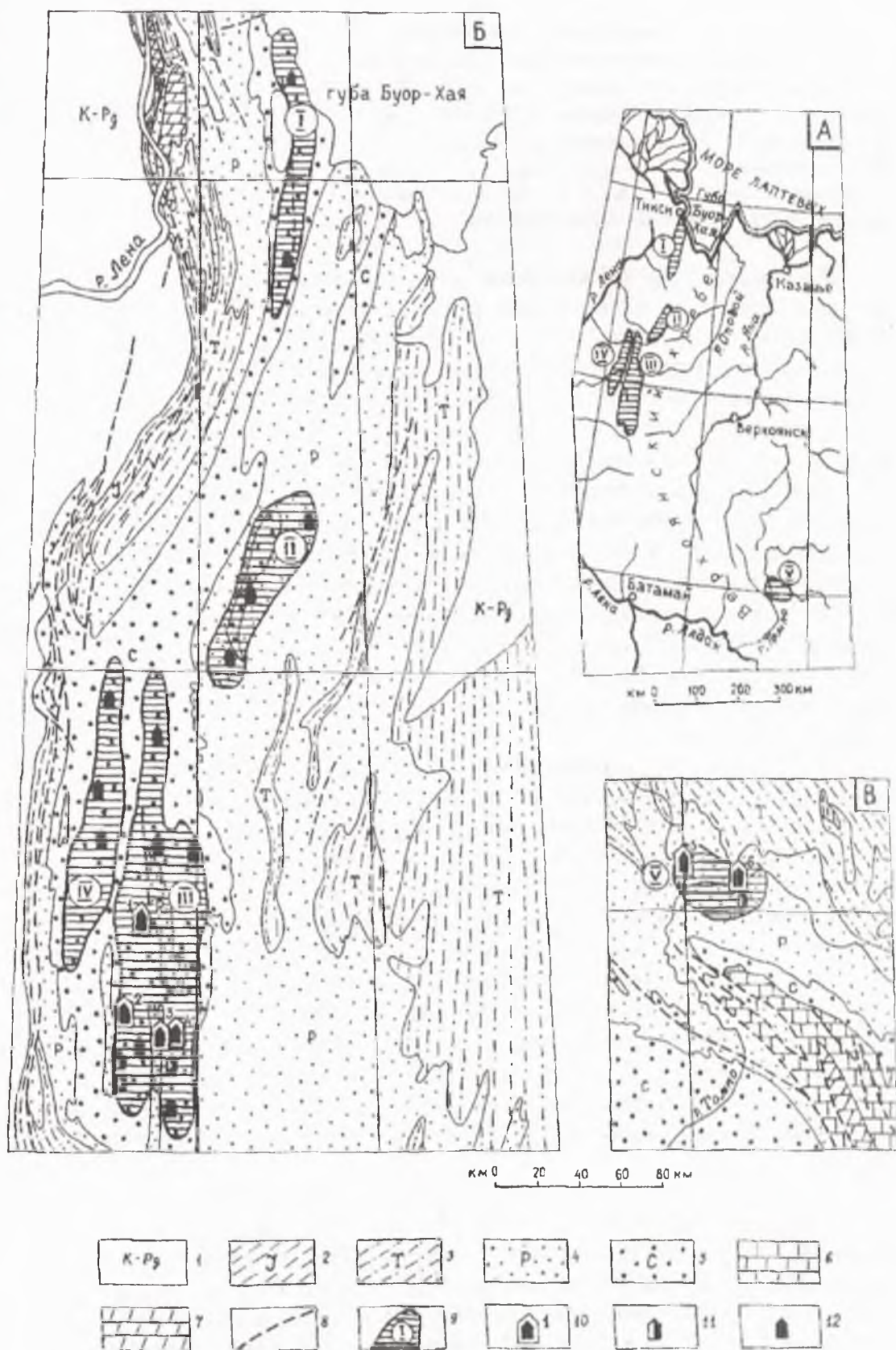


Рис. 54. А – Схема размещения хрусталеносных площадей Верхоянской провинции
 Б – Схематическая карта хрусталеносности Орулганского района
 В – Схематическая карта хрусталеносности Томпонского узла
 (по Саврасову В.Н., Пацкевичу Г.П. и др., 1964г.)

1 – мел-палеогеновые терригенные отложения. 2 – юра: глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, туффы. 3 – триас: глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, конгломераты. 4 – пермь: песчаники, конгломераты, глинистые сланцы, алевролиты, изредка углистые сланцы. 5 – карбон: песчаники, глинистые и углистые сланцы, конгломераты. 6 – ордовик-девон: известняки, доломиты, линзы гравелитов, песчаники, глинистые сланцы. 7 – синийско-кембрийский комплекс: мергели, кремнистые сланцы, известняки, доломиты. 8 – разломы. 9 – хрусталеносные зоны (узлы) и их номера: I – Хараулахская, II – Мейчанская, III – Собопольская, IV – Джарджанская, V – Томпонская. 10 – месторождения пьезокварца и их номера: 1 – Арангас (Сынча), 2 – Сакиндя, 3 – Адабег, 4 – Касалин, 5 – Хрустальный, 6 – Сохатиный. 11 – проявления пьезокварца. 12 – проявления горного хрусталя

Томпонская зона располагается в юго-восточной части провинции на левобережье р. Томпо (приток р. Алдан). Зона имеет субширотное простирание, размеры в плане 30-40x10 км. Она приурочена к зоне погружения Сетте-Дабанского антиклинория на его сочленении с Западно-Верхоянским антиклинорием. Площадь зоны сложена нижне-верхнепермскими терригенными отложениями, сменяющимися к востоку подобными же породами карбона. Пермские отложения имеют пологое залегание на основной площади; на востоке терригенные толщи приобретают крутой наклон ($40-70^{\circ}$).

Кварцевые жилы связаны с зонами разноориентированных разрывных нарушений, проявленных в основном зонами брекчирования и рассланцевания, со сплошным окварцеванием и хлоритизацией. Хрусталеносные объекты залегают только в верхнепермских породах (алевролиты с пластами и линзами песчаников). Характер жильных тел здесь аналогичен наблюдаемому по Собопольской зоне – простые плитообразные жилы, сложные ветвящиеся тела, штокверковидные жильные образования. Преобладают плитообразные жилы (более 80% всех кварцевых образований) и штокверкообразные зоны. Первые имеют протяженность до 500 м при мощности до 4 м, вторые – длиной 50-100 м, мощностью до 15 м.

По минеральному составу жилы мономинеральные кварцевые (преобладающий тип) и кварц-карбонатные. Обычно во всех кварцевых жилах зоны присутствуют сульфиды (пирит, халькопирит, галенит); из нерудных характерны хлорит и серицит, развивающиеся в жильной породе, и в массе гнездового выполнения. Хлорит проявлен и в виде зональных включений в кристаллах горного хрусталя. Из поздних минеральных выделений отмечают кальцит, анкерит, малахит, цеолиты и гидроокислы Fe. Кальцит образует призматические оторочки жил или цементирует массу гнездового выполнения. Жильный кварц преимущественно массивный разномзернистый, с участками шестоватого и друзовидного.

Хрусталеносные полости относятся к трем типам: полости выщелачивания, остаточные гнезда, полости в зонах дробления и перекристаллизации. Размер полостей – до $0,5 \times 0,5$ (при овальной форме), до $2,5 \times 1,0 \times 0,2$ м (при щелевидной форме). Гнездовое выполнение кристаллы горного хрусталя, кварцевая дресва, глинистая порода (из каолина с хлоритом и серицитом), иногда – карбонаты. Полости часто (второй тип) окаймлены шестоватым или друзовым кварцем.

Характер кристаллосырья на проявлениях Томпонской зоны практически тот же, что и на Собопольских объектах. Дымчатые (до мориона) кристаллы выполняют наложенные гнезда, бесцветные (и прозрачные, и замутненные) наблюдаются и в остаточных, и в наложенных полостях. Крупные кристаллы (до 40 кг) обычно низкого качества из-за обилия трещин и ГЖВ, часто они имеют уплощенный облик. Для прозрачных кристаллов обычные размеры до 10-15 см по L_3 , при длиннопризматическом или обелисковидном габитусе (хотя последний специфичен для каждого из известных хрусталепоказаний); на них отмечается развитие гемиздрических граней. Часты двухголовые кристаллы свободного роста. Из специфичных дефектов кристаллов отмечаются включения обломков алевролитов и присыпки хлорита во внутренних зонах роста.

Основными продуктивными объектами Томпонской зоны являются хрусталепроявления Медвежьего, Сохатинского, Жильного и Хрустального участков, хотя они и не являются промышленными месторождениями.

В целом хрусталеносные кварцевые жилы Верхоянской провинции относятся к рядовым объектам одноименной формации, с преобладанием продуктивной минерализации наложенного характера. Объекты с остаточным типом хрусталеносных полостей (в том числе минерализованные трещины) имеют меньшее значение по сравнению с первыми.

Наиболее крупными для провинции и характерными (по типам жильных тел) являются месторождения Касалин и Сакындя, из рассмотрения которых можно сделать выводы о практической значимости провинции.

8.2.2. Месторождение Касалин

Месторождение Касалин расположено на правом берегу р. Судьян-Далхан, в 0,5 км к югу от вершины 1612 м. Объект выявлен в 1963 г. партией ВАГГ, проводившей съемку масштаба 1:200000. В 1964 г. на проявлении были выполнены ревизионно-поисковые и поисково-оценочные работы, а в 1965 г. — разведка (партия № 14 экспедиции № 109, Ю.А. Калинин и др.), определившие его как один из наиболее значительных хрусталеносных объектов Верхоянской провинции (Калинин Ю.А., Самойлов Г.П. и др., 1964 г.; Калинин Ю.А., Гуревич Г.С. и др., 1965 г.).

Месторождение залегает в осадочной толще верхнего карбона — нижней перми (С₃-Р₁, пп_{q2}), представленной алевролитами, алевропесчаниками и мелкозернистыми песчаниками, с резким преобладанием алевролитов. Структурно оно приурочено к осевой части Имтачанской флексуры, представляющей собой субмеридиональную асимметричную складку с углами падения крыльев от 45 до 80°. В осевой части породы круто изогнуты или запрокинуты под углами 70-80°, западное крыло более крутое, чем восточное. Свод складки осложнен двумя системами синскладчатых разрывов — субмеридионального и северо-восточного простирания, а также более поздними субширотными трещинами с признаками взбросовых смещений. Сводовая часть осложнена и

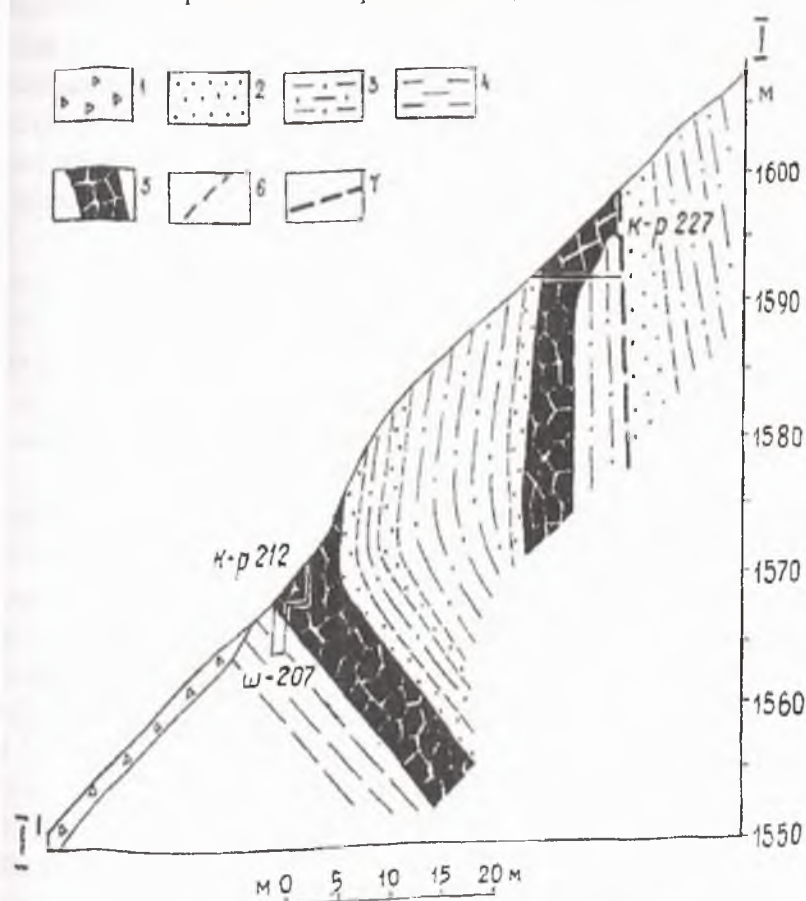


Рис. 55. Месторождение Касалин, поперечный разрез (по Ю.А. Калинин, 1965 г.)

1 — современные отложения. Делювий. Обломки песчаников, алевролитов и кварца. 2 — песчаники. 3 — алевропесчаники. 4 — алевролиты. 5 — кварцевые жилы. 6 — границы литологических разностей пород. 7 — тектонические нарушения, предполагаемые

отдельными зонами кливажа разной ориентировки.

Месторождение представлено двумя пластовыми жилами, приуроченными к крутопадающим субогласным трещинам отслаивания песчанико-алевролитовой толщи (рис. 55.). Они вытянуты параллельно друг другу в субмеридиональном направлении ($10-30^\circ$) по оси флексуры, вдоль контактов пластов песчаников и алевролитов. Жилы протягиваются на 260 и 195 м, при мощности от 3 до 8 м (в раздувах). Падение жил невыдержанное (от 30° до 80°), на отдельных участках по падению они секут вмещающие породы под углом $10-15^\circ$. Контакты с вмещающими породами прямолинейные, четкие, без видимых следов околожилных изменений. Вдоль контактов наблюдаются зоны дробления пород с зеркалами скольжения. Общее падение жил – в восточные румбы (азимут от 80° до 120°). Отдельные участки жил поперечными трещинами – взбросами смещены на 5-6 м. На глубину жилы прослежены до 15-18 м, без видимых признаков выклинивания. Внутри жил обычны ксенолиты вмещающих пород, окварцованных и серицитизированных. Сложены жилы молочно-белым разномасштабным кварцем – от мелкозернистого массивного до шестоватого и друзового (в хрусталеносных интервалах). В незначительных количествах иногда присутствуют карбонаты (обычно тяготеющие к хрусталеносным гнездам), сульфиды (пирит).

Хрусталеносные полости приурочены к участкам перегибов и раздувов жил. Их висячим зальбандам. Генетически они представлены двумя типами – полостями остаточного происхождения и гнездами в зонах наложенных тектонических осложнений. Остаточные образования – овальные, линзовидные или неправильные – субизометричные, рассредоточены в объеме всей жилы. Размеры – максимум до $0,1-0,2 \text{ м}^3$. Их гнездовое выполнение – кварцевая сыпучка с обломками кристаллов, мучнистая масса разложившихся гидроокислов Fe. Горный хрусталь инкрустирует в основном стенки полостей, кристаллы мелкие (максимум до $10 \times 4 \text{ см}$), обычно непрозрачные, полупрозрачные, короткостолбчатые. Полости, связанные с наложенными тектоническими осложнениями, зонами дробления, расщепления – различной формы, от эллипсовидных трубообразных до щелевидных и изометричных. Объем их – до $3,1 \text{ м}$, с размерами до $4,0 \times 0,7 \times 1,1 \text{ м}$. Стенки полостей сложены как массивным, так и крупнозернистым шестоватым – друзовым кварцем. Гнездовое выполнение – кристаллы горного хрусталя и их обломки, друзовые сростки, кварцевая сыпучка, гидроокислы Fe; отдельные полости – с кристаллами кальцита. Горный хрусталь в виде обособленных кристаллов, размерами до $47 \times 25 \text{ см}$, в целом более прозрачных, чем в полостях остаточного типа.

Основной продуктивный тип кристаллосырья – из полостей в зонах тектонических осложнений. Кристаллы – более низкотемпературной генерации, средними размерами до $20 \times 10 \text{ см}$, среднепризматические, реже – длиннопризматические и короткостолбчатые. Обычны слабоуплощенные индивиды тригонального облика с асимметричными головками. До 40% кристаллов имеют осложняющие гемиздрические грани. Цвет кристаллов – полностью прозрачный, редко – слабо-дымчатый или желтоватый. Прозрачны обычно головка и средняя треть индивидов. Часто отмечаются двухголовые кристаллы, регенерированные и свободного роста. Дефектна большая часть кристаллосырья. Практически все кристаллы поражены трещинами, особенно их корневые части. Часто трещины залечены, фиксируются ГЖВ и выделениями пылеватых частиц вмещающих пород и хлорита. Отмечаются хлоритовые "фантомы", рубашки на гранях ромбоэдров; редко – примазки гидроокислов Fe, карбонатные пленки.

До 70-80% кристаллов поражено двойниками, чаще дофинейскими, в головках наблюдаются крупные единичные двойники, в основании – мелкие или двойниковые "рубашки". Корневые зоны кристаллов поражаются также свиями, в целом мало влияющими на качество сырья.

При всех дефектах из кристаллосырья месторождения Касалин обеспечивается значительный выход пьезокварца и горного хрусталя для плавки. Из отработанной жильной массы (1460 м^3) получено 17,8 кг мнбл пьезокварца и 1210 кг плавочного сырья. Это определило средние содержания пьезокварца на уровне 15 г/м^3 (жила №1) и 10 г/м^3 (жила №2), плавочного сырья – $0,83 \text{ кг/м}^3$. Однако качество пьезокварца – низкое (табл. 8.4.), с выходом высоких сортов (высший + 1) не более 42%, а сорта "маломерка" – более 16%.

Таблица 8.4.

Сортность сырья на месторождениях Верхоянской провинции

Месторож- дение	Пьезокварц, (%)					Горный хрусталь для плавки, %		
	Высший	I с	II с	III с	Маломерка	I с	II с	III с.
Касалин	5,0	37,7	41,5	-	15,8	48,0	28	24
Сакынды	-	56,4	38,4	-	5,2	37,5	27,5	35

По результатам работ 1963-65 гг. по месторождению были подсчитаны запасы в количестве 391 кг моноблоков (с учетом добытого), плавочного сырья – 37,4 т. Основные параметры блоков подсчета запасов приведены в табл.8.5. В целом эти параметры находятся на уровне мелких уральских – казахстанских месторождений. Однако в условиях Верхоянья отработка этих и подобных запасов (как показали расчеты по работам 1964-67гг.) с данными параметрами нерентабельна. Запасы отнесены к забалансовым и исключены из Госбаланса.

Таблица 8.5.

Основные характеристики блоков подсчета запасов
месторождений Верхоянской провинции

Показатели	Месторождение Касалин	Месторождение Сакынды
Содержание на жильную массу:		
пьезокварц, г/м^3	12,5	7,7
плавка, кг/м^3	0,83	2,2
Предельный $K_{\text{вскрыши}}$	2,0	-
Объем вскрыши, м^3	34000	-
Объем блока запасов, м^3	28160	21000
Система отработки	открытая	открытая
Глубина отработки, м	20	10-20
Минимальная мощность жил, м	1,75	1,0-6,0
Обводненность	отсутствует	отсутствует

8.2.3. Месторождение Сакындя

Месторождение расположено в бассейне правого притока р. Собопол – руч. Сакындя и представлено тремя разобщенными участками: Верхний III, Нижний и Сакындя II. Основной

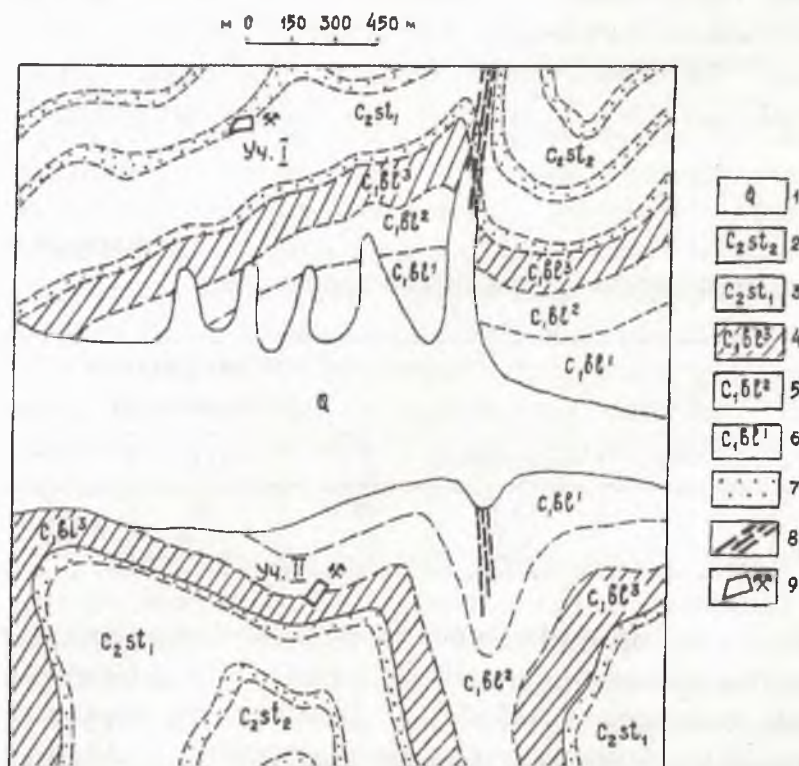


Рис. 56. Схематическая геологическая карта жильного поля Сакындя (по В.М. Андрееву, Г.С. Гуревичу, 1965г.)

- 1 – аллювиально-делювиальные отложения. Сетачанская свита.
- 2 – верхняя подсвита. Песчаники с прослоями алевролитов.
- 3 – нижняя подсвита. Алевролиты с пластами песчаников. Балыкатская свита.
- 4 – верхняя толща. Существенно песчановая пачка.
- 5 – средняя толща. Чередование алевролитов, песчаников, алевропесчаников.
- 6 – нижняя толща. Существенно песчановая пачка.
- 7 – пласты песчаников.
- 8 – зоны интенсивной трещиноватости.
- 9 – хрусталеносные участки: I – Верхний, II – Нижний

складками и флексурными перегибами, с наложенной системой трещинных зон субмеридиональной ($350-360^\circ$) и субширотной ориентировки ($260-270^\circ$). Основной участок (Верхний III) приурочен к пласту песчаников мощностью около 60 м. Он представляет продуктивную кварцевую жилу длиной до 250 м (разведанная часть 120 м) и мощностью 3-4 м (в раздуве центрального интервала – до 9 м). Жила пологопадающая (30°), в целом пластообразная; на западном фланге разветвляющаяся на несколько составляющих тел и серию апофиз. На контактах жил по всякому боку прослеживается зона дробления (0,2-0,3 м), выполненная обломками песчаников, алевролитов, жильного кварца и тонким железисто-хлоритовым материалом. Здесь же встречена самородная сера (скопления до 10 см в поперечнике). В жиле вскрыто несколько ксенолитов песчаников (до 3,5 м), слабо окварцованных.

Жильное тело сложено крупнозернистым шестоватым, участками – друзовым кварцем, интенсивно ожелезненным. В жиле вскрыто 5 крупных хрусталеносных полостей и серия мелких занорышей. Они представлены, как и на месторождении Касалин, остаточными мелкими образованиями и полостями в наложенных тектонических зонах. Практическое значение имеют полости второго типа, содержащие наиболее качественные и крупные кристаллы горного хрусталя. Размер полостей обычно $1,0-2,5 \text{ м}^3$ (одно гнездо $7,8 \text{ м}^3$). Их стенки обрамляются крупнозернистым массивным или шестоватым – друзовым кварцем.

участок, по сути представляющий всё месторождение, это участок Верхний III, данные по которому характеризуют всё месторождение (рис. 56.).

Хрусталепроявление Сакындя выявлено в процессе поисково-съёмочных работ ВАГТ в 1963-64гг. В 1965-66гг. на объекте проводились поисково-оценочные и разведочные работы, результаты которых определили его как одно из наиболее значительных месторождений пьезокварцевого сырья Верхоянской провинции (Андреев В.М., Гуревич Г.С. и др., 1967г.).

Месторождение расположено на площади развития терригенных отложений нижнего-среднего карбона, представленных чередующимися в различных соотношениях пластами песчаников, алевролитов и аргиллитов. В структурном отношении площадь приурочена к пологому западному крылу и своду Сетачанской антиклинали, осложненной более мелкими

Гнездовое выполнение — кристаллы кварца, их обломки и сростки, кварцевая щебенка, в отдельных случаях — кристаллический кальцит. Кристаллы горного хрусталя находятся в основном в свободном состоянии. Для них характерна повышенная прозрачность, средне-длиннопризматический габитус, тригональный облик; обычны гемиздрические грани. Размеры кристаллов — до 25-50 см по L_3 , 10-25 см по L_2 ; преобладают индивиды длиной 10-25 см. Крупные кристаллы — обычно короткостолбчатые, уплощенные, замутненные. По цвету преобладают водяно-прозрачные разности, реже — со слабым дымчатым оттенком. Бездефектны верхние части призмы и головки кристаллов. Основные дефекты — трещины и ГЖВ, реже (по трещинам же) фиксируются твердые минеральные включения (пыль, хлорит); грани часто покрыты железистыми и карбонатными пленками. Большая часть кристаллов поражена двойниками, реже — свиллями (в корневой зоне).

Участок Нижний представлен своеобразным кварцево-брекчиевым телом (рис. 57), с

отдельными хрусталеносными гнездами, залегающим в пачке переслаивания песчаников-алевролитов.

Из отобранных в целом на месторождении 1840 м³ жильной породы извлечено 14,2 кг мнбл. пьезокварца и 4,0 т плавочного горного хрусталя, Соответственно содержание пьезосырья составило 7,7 г/м³, плавки — 2,2 кг/м³ в расчете на жильную массу. Качество сырья — удовлетворительное (табл. 8.3). По полученным результатам на месторождении проведен подсчет запасов сырья (1966г.), определивший его значение как второго по масштабам хрусталеносного объекта Верхоянской провинции: запасы пьезокварца 94 кг; плавки 25,6 т. По подсчету 1965г. запасы были определены в количестве 347 кг и 25,7 т соответственно.

В то же время основные расчетные параметры подсчета запасов исключают возможность рентабельной отработки месторождения; запасы отнесены в разряд забалансовых (табл. 8.5.).

Общие перспективы провинции, исходя из оценки ее основных месторождений, весьма ограничены, В какой-то мере требует доизучения вопрос с

плавочным сырьем — при использовании механического обогащения его выход может быть повышен на 50-100%. Качество сырья (по химсоставу) не изучалось, но оно может быть весьма высоким. В этом случае возможен частичный пересмотр перспектив отдельных объектов.

0 7,5 15 м

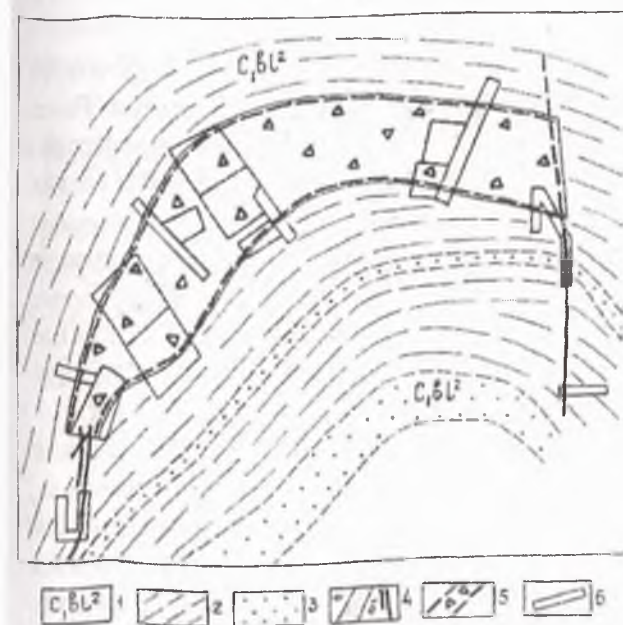


Рис. 57. Месторождение Сакындя.
Геологический план участка Нижний
(по В.М. Андрееву, 1961г.)

1 — балыкатская свита, средняя толща. Ритмичное чередование алевролитов, песчаников, реже алевропесчаников. 2 — алевролиты. 3 — песчаники, 4 — кварцевые жилы (а), прожилки (б). 5 — зона дробления с кварцево-жильной минерализацией. 6 — горные выработки

8.3. Кавказская провинция

Кавказская хрусталеносная провинция приурочена к зоне Большого Кавказа с развитием минерализации в ряде районов как северного (Дагестанский район), так и южного (Сванетско-Рачинский район) его склонов; известны хрусталепроявления и в его центральной части (район Казбеги). Месторождения горного хрусталя уровня мелких промышленно хрусталеносных объектов выявлены на площади Верхне-Рачинского узла (восточная часть Сванетско-Рачинского района) и в зоне Аварского Койсу (Дагестанский район). Как типовые и наиболее значимые единицы провинции эти объекты с представляющими их месторождениями и заслуживают определенного внимания. В Верхне-Рачинском районе основной объект – месторождение Соброле, в Дагестанском районе – месторождение Айшат-Кули, которые и подлежат рассмотрению.

8.3.1. Месторождение Соброле

Верхне-Рачинский узел территориально размещается в северной части Грузии (в истоках р. Риони и ее притоков), исторически выделяющейся под названием Верхняя Рача. Площадь узла представляет собой территорию с сильно пересеченным, скалистым, труднопроходимым рельефом с высотными отметками 1200-3000 м. Главная орографическая единица площади – хребет Шода-Кедела, к которому и приурочены все основные хрусталепроявления узла (месторождение Соброле, проявления Шода, Беглори, Сакаура и др.). В целом район достаточно доступен за счет шоссейной дороги, связывающей его через Мамисонский перевал с Северным Кавказом, а через курорт Уцера (в 3,5 км) и г. Они (18,5 км) с основной территорией Грузии (г. Цхинвали – в 90 км к юго-востоку от площади узла).

Площадь Верхне-Рачинского узла входит в состав Местиа-Тианетской геотектонической подзоны геосинклинория Южного склона Большого Кавказа, приуроченной к осевой части карбонатно-флишевой альпийской многогеосинклинали (Гавашели В.В., Чихрадзе А.И., 1990г.). В её строении принимают участие отложения палеозоя, юры и мела. Палеозойские породы (дизская свита) выступают в ядрах антиклинальных складок, а депрессии выполнены песчано-сланцевой свитой лейаса или карбонатно-терригенными отложениями верхней юры – нижнего мела. Последние слагают Шода-Рубодзальский синклинорий, осложненный дополнительной складчатостью (Ночара-Накринская и Будзгорская синклинали, Лухумская антиклиналь). Все хрусталепроявления Верхне-Рачинского узла приурочены к Ночара-Накринской (Шода-Кедела) синклинали. Эта структура сложена в южном крыле породами средней юры – тёмными глинистыми сланцами и тонкозернистыми песчаниками-алевролитами аалленского яруса (J_2a); глинистыми сланцами, песчаниками, туфами и диабазами байосса (J_2bj), песчаниками и песчанистыми сланцами бата (J_2bt). В бортах синклинали обнажаются карбонатно-флишевые отложения верхней юры (переслаивание мергелей, известняков и крупнозернистых песчаников) и нижнего мела (известняки, мергели, слюдистые и глинистые сланцы). В восходящем разрезе в осевой части синклинория отложения карбонатного флиша сменяются терригенным флишем свиты Геске – песчаниками, глинистыми сланцами, мергелями баррема (K_1b) и апта (K_{1ar}). Аптский ярус сложен преимущественно глинистыми сланцами и чередующимися с ними пачками (20-75 м) средне-и крупнозернистых песчаников. Терригенный флиш завершается отложениями альба (K_{1ab}) – глинистыми сланцами, аргиллитами, песчаниками. В песчаниковых пачках апта и альба сконцентрированы все проявления горного хрусталя.

Основной дизъюнктивной структурой района Верхней Рачи является глубинный разлом (надвиг), ограничивающий кристаллическое ядро мегантиклинория Главного хребта.

Карбонатно-флишевый синклиний отделяется с юга и севера краевыми разломами (взбросы – надвиги?). Жильная минерализация контролируется более мелкими продольными нарушениями (типа Лухуми-Рубодзольского сброса). Крупные поперечные разломы отмечены в восточной и западной частях территории, вдоль рр. Риони и Лукулин-Цхали.

Хрусталеносная минерализация Верхне-Рачинского узла представлена целым рядом проявлений (Саброле, Кепха, Шода и др.). Проявления локализуются в пластах песчаников на участках их структурных осложнений типа *местных антиклинальных перегибов*, флексурных образований и др. (рис. 58.). Наиболее значительным и характерным из них является месторождение Саброле (с участком Цихия). Оно приурочено к одной из пачек (№4) песчаников свиты Геске ($K_{ар}$) с мощностью пластов от 20 до 80 м. Песчаники перекрываются пачкой переслаивающихся аргиллитов и алевролитов мощностью 60-100 м. Состав песчаников – кварцево-аркозовый (зерна кварца, плагиоклаза, обломки кварцитов, чешуйки мусковита). Площадь месторождения достаточно интенсивно дислоцирована. фиксируются локальные складки волочения, перевернутые изоклинальные складки, осложненные флексурные перегибы, брахиструктуры. Всего намечается 6 осложняющих антиклинальных и 7 синклинальных складок низшего порядка. Продуктивные участки

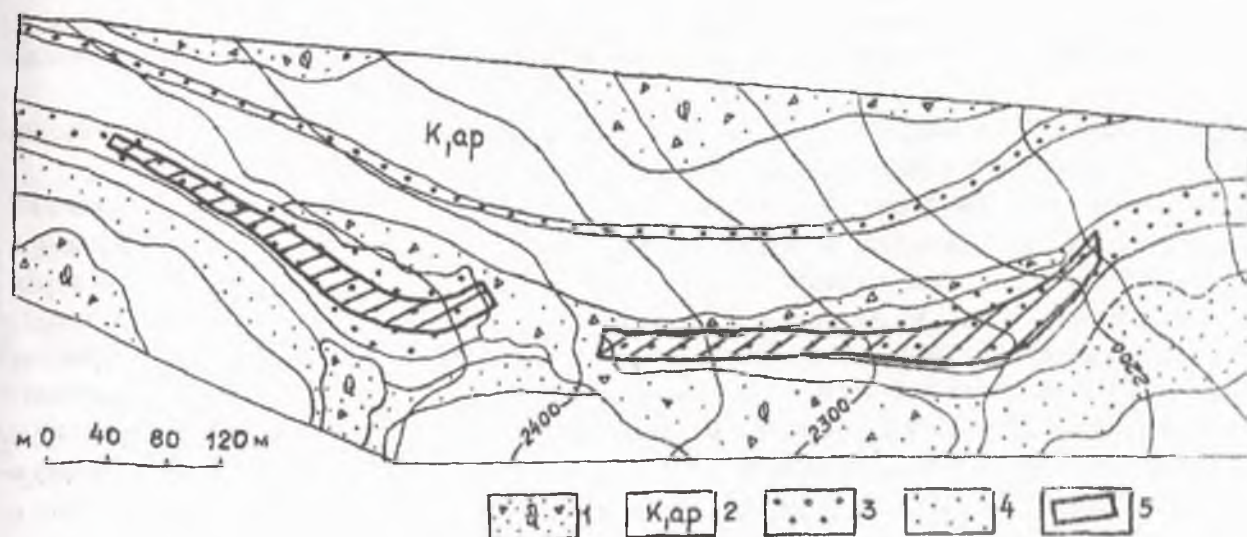


Рис. 58. Геологический план месторождения Саброле
(по В.В. Гавашели, А.И. Чихрадзе, 1988г.)

1 – четвертичная система. Современный отдел (аллювий, делювий). Галечники, пески, суглинки. Меловая система, нижний отдел, аптский ярус. 2 – флишеидное переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов. 3 – массивные аркозовые песчаники с прослоями аргиллитов. 4 – плитчатые песчаники с прослоями аргиллитов. 5 – контуры кварцево-жильных зон

контролирующих пластов песчаников приурочиваются к осевым интервалам антиклиналей, осложненных разрывными структурами разного порядка, зонами трещиноватости.

Хрусталеносные кварцевые жилы месторождения Саброле четко контролируются диаклазовыми трещинами в пластах песчаников. Наиболее интенсивно проявлены жильомещающие трещины поперечно-секущего заложения (рис. 59.), имеющие все признаки полостей растяжения-отрыва (не несут признаков продольных смещений, при общей линзовидной форме имеют четкие прямолинейные, часто ступенчатые контакты, не выходят за границы благоприятного для трещинообразования пласта, имеют однотипную ориентировку и др.). Они ориентированы примерно перпендикулярно к слоистости пород, при довольно крутом падении ($45-70^\circ$). Форма жил – линзовидная, с различным индексом уплощенности. Протяженность жил – до 12 м, мощность до 1,2-1,5 м (собственно участок

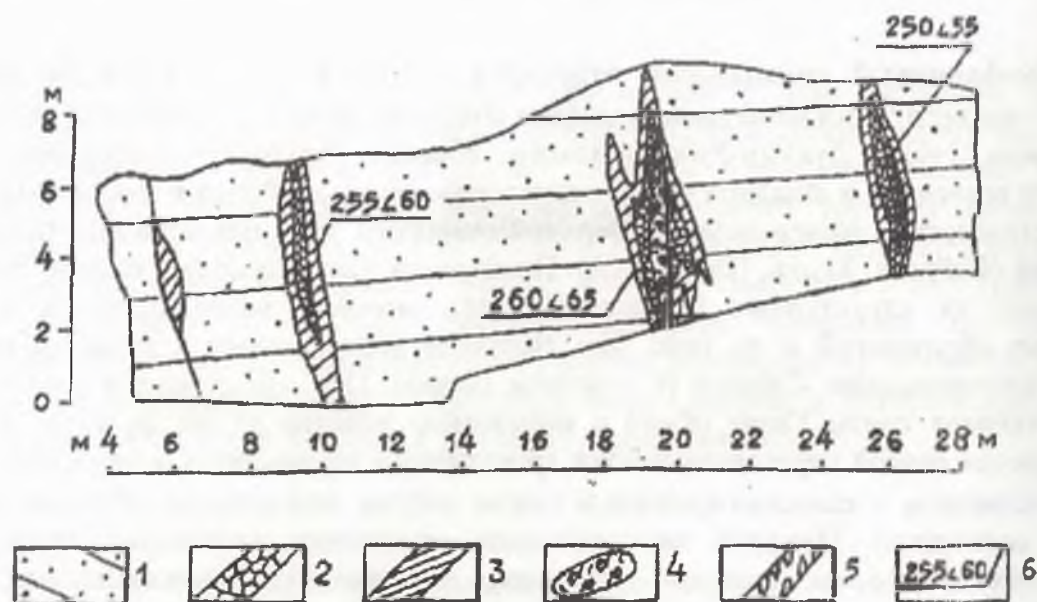


Рис. 59. Месторождение Соброле. Разрез жильной зоны в карьере № 1
(по Гавашели В.В., Чихрадзе А.И., 1988г.)

1 – песчаники. 2 – жилы полупрозрачного кварца. 3 – жилы и прожилки молочно-белого кварца. 4 – хрусталеносные гнезда. 5 – открытые трещины со щетками кварца. 6 – элементы залегания жильных тел

Соброле); единичные раздувы – до 2,0 м (участок Цихия). В редких случаях (участок Беглори) фиксируются мелкие штокверковидные образования.

Строение жил довольно однообразно. В наиболее мощных жильных телах и особенно в их раздувах четко проявляется зональность строения – центральные части сложены полупрозрачным-прозрачным крупнозернистым кварцем шестоватой или друзовой текстуры. Призальбандовые участки образованы мелкозернистым непрозрачным (молочно-белый) кварцем. Маломощные жилы и прожилки представлены полностью этим мелкозернистым кварцем. Степень развития кварца разных типов (друзовой, шестоватый и массивный) примерно равная. В каждой хрусталеносной жиле имеется по несколько мелких занорышей и отдельные крупные гнезда размерами до 1,5-2,5 м по длинной оси, до 0,5 м в поперечнике; в некоторых жилах полости занимают всю приосевую часть кварцевых тел. Контакты жил с вмещающими песчаниками резкие, четкие; около всех более мощных тел, как правило – хрусталеносных, породы на расстоянии до 1,0 м выщелочены, осветлены (за счёт их серицитизации). Особенно это проявлено около раздувов жил с хрусталеносными полостями. Маломощные жилы характеризуются холодными контактами.

Характер выполнения хрусталеносных полостей типичен для подобных образований остаточного типа; кристаллы горного хрусталя и их обломки, дресва кварца и вмещающих песчаников, сцементированные глинистым материалом. В отдельных гнездах – охристые выделения и железистые примазки на кристаллах и их обломках. Полости окаймляются друзовым и шестоватым, прозрачным-полупрозрачным кварцем. При этом степень кристалличности, идиоморфности и размерности кварцевого материала закономерно возрастает от зальбандов жил к границам хрусталеносных полостей. Отдельные полости и вмещающие их кварцевые жилы несут следы пострудных деформаций (растрескивание и брекчирование жильной породы, отрыв и перемещение кристаллов горного хрусталя, а также вмещающего жильного материала).

Основные полезные компоненты хрусталеносных кварцевых жил – горный хрусталь и прозрачный-полупрозрачный друзовый (реже – шестоватый) кварц. Кристаллы горного хрусталя – бесцветные или со слабым дымчатым оттенком (водяно-прозрачные), длинно-среднепризматические, максимальных размеров до 20x12 см (участок Цихия) и до 30x15 см (участок Соброле), обычно кристаллы менее 10 см по длинной оси. Кристаллы прозрачные в

оловке, замутненные ГЖВ в основаниях, иногда рассечены трещинами ("швами") с альцитом. Встречаются полностью трещиноватые (до разрушения) индивиды. Поверхность кристаллов -- как правило с глинистой или железистой рубашкой. Прозрачный кварц -- бесцветный или слабо-дымчатый, зерна-кристаллы и их сростки -- достаточно индивидуализированы, с обычными размерами индивидов 3-5 см. Из кристаллов горного хрусталя и друзового-шестоватого кварца обеспечивается выход сырья для плавки, в т.ч. высоких сортов (табл. 8.5.), с достаточно высоким его содержанием в жильной породе (табл. 8.6., 8.7.). По составу элементов-примесей получаемое сырьё отвечает требованиям действовавших до 1997г ТУ (табл. 8.8.). По ранее проведенным работам (П.В. Цилосани, С.Г. Нагелишвили, 1951-55гг.) из кристаллосырья месторождения обеспечивался некоторый выход пьезокварца. Более поздними работами эти данные не подтвердились.

Таблица 8.6.

Выход сортового сырья из горного хрусталя и жильного кварца месторождения Собрале

Участок	Характеристика сырья	Вес пробы, кг	Сортность, кг/%				Общий выход сортового сырья, кг/%
			Высший	I	II	III	
Цихия I	Горный хрусталь	206,6		<u>16,5</u>	<u>27,5</u>	<u>53,0</u>	<u>97,1</u>
				8,0	13,3	25,7	46,9
	Прозрачный кварц	281,0	<u>28,0</u>	<u>28,2</u>	<u>17,3</u>	<u>42,2</u>	<u>115,8</u>
Цихия II	Горный хрусталь	83,0	-	<u>7,3</u>	<u>13,9</u>	<u>20,6</u>	<u>41,8</u>
				8,8	16,7	24,9	50,4
	Прозрачный кварц	61,0	<u>8,0</u>	<u>5,3</u>	<u>4,8</u>	<u>7,7</u>	<u>25,8</u>
Собрале	Горный хрусталь	167,0	-	<u>14,4</u>	<u>20,1</u>	<u>38,4</u>	<u>72,9</u>
				8,6	12,0	23,0	43,6
	Прозрачный кварц	170,5	<u>9,0</u>	<u>9,7</u>	<u>13,8</u>	<u>26,9</u>	<u>59,4</u>
			5,3	5,7	8,1	15,8	34,8

Таблица 8.7.

Состояние запасов и ресурсов плавочного сырья по месторождению Собрале

Участок	Содержание сырца, кг/м ³		Запасы сырца, т		Запасы сортового сырья, т	
	Горный хрусталь	Прозрачный кварц	Горный хрусталь	Прозрачный кварц	Горный хрусталь	Прозрачный кварц
Уч. Цихия	по блоку					
Запасы С ₁ (до 5 м)	1,4	2,83	19,6	39,8	9,2	16,6
Ресурсы Р ₁ (до 25 м)	1,4	2,83	103,6	215,6	48,6	90,5
Уч. Собрале	по жильной массе					
Ресурсы Р ₁ (до гл. 20м)	63,0	200,0	39,8	126,6	17,4	44,0

Таблица 8.8.

Состав элементов-примесей в плавочном сырье месторождения Соброле

Участок	Вид сырья	Содержание элементов-примесей, nIO ⁻¹ % (среднее/минимальное)									T, %
		Fe	Al	Ti	Ca	Mg	Si	Mn	Na	K	
Цихия I	Горный хрусталь	3,8	26,0	0,15	1,0	0,47	0,77	0,06	9,0	5,3	76
		1,8	20,0	0,11	0,4	0,31	0,06		4,1	1,2	
	Прозрачный кварц	1,2	32,0	0,11	1,0	0,1	1,1	0,06	17,0	1,7	
Цихия II	Горный хрусталь	3,8	26,0	0,12	2,0	0,2	0,12	0,06	12,0	1,0	73
		-	-	-	-	-	-		-	-	
	Прозрачный кварц	2,7	14,0	0,55	1,0	0,77	0,51	0,06	28,2	2,8	
Соброле	Горный хрусталь	1,4	12,0	0,40	0,6	0,54	0,06		26,0	2,3	82
		4,5	24,0	0,17	3,0	0,08	0,06	0,09	4,8	1,2	
	Прозрачный кварц	1,0	14,0	0,07	0,6	0,2	-	0,06	1,7	1,0	
		2,4	20,0	0,12	2,0	0,85	0,11	0,06	7,0	1,6	
		2,4	12,0	0,12	1,6	0,70	0,06		4,0	1,0	

По результатам изучения кварцевых жил и месторождения Соброле, и других хрусталепроявлений они отнесены к объектам альпийского типа минерализации. В приложении к действующим в СССР и России минерагеническим схемам эти объекты близки к образованиям типа "минерализованных трещин", выделяемых на хрусталеносных жильных полях Центрального Казахстана (типа Котр) со сходными типами и масштабами минерализации.

По результатам геологоразведочных работ на месторождении Соброле выделено более 140 кварцевых жил. Из них 63 жилы – собственно на участке Соброле, 79 жил – на участке Цихия. Часть жил (~25%) отработана в 1953-54 гг., часть жил опробована в 1983-90 гг. (20 жил). На глубину до 30 м отдельные участки развития кварцевых тел прослежены скважинами. Распределение жил на всех участках – неравномерное. По уч. Соброле, при длине 660 м, выделено два блока с максимальной концентрацией жильных тел (1 жила на 10 м), разобщенных 105 м интервалом. Западный блок – с 41 кварцевой жилой (опробовано 5), с объемом опробования 18 м³, прослежен на глубину до 5 м, с выделенными ресурсами категории Р₁. Восточный блок с 22 кварцевыми жилами (5 изучены с поверхности) с объемом опробования 14,2 м³ жильной массы, также прослежен на глубину 5 м, и с выделенными ресурсами категории Р₁.

На участке Цихия выделено 2 высоко минерализованных (продуктивных) интервала. Интервал Цихия I – 31 жила, на протяжении 275 м. 19 из них опробовано, минерализация прослежена до 30 м по вертикали, объем опробования – 154,3 м³ жильной массы; с подсчетом запасов категории С₂ до глубины 5 м и оценкой ресурсов категории Р₁ до глубины 30 м.

Блок Цихия II – протяженностью 285 м, насыщенность жилами – 1 ед. на 13 м (всего 20 хрусталеносных тел); опробовано 11 жил, объемом 18,8 м³ жильной массы; на глубину прослежен скважинами до 25 м; с оконтуренными запасами категории С₂ и прогнозными ресурсами категории Р₁. Общие данные по месторождению Соброле в отношении запасов и прогнозных ресурсов приведены в табл. 8.7.

В дополнение к изложенному следует добавить, что площади месторождений Верхне-Рачинского узла свои перспективы не исчерпали. Возможно выявление продуктивных тел под наносами (собственно участок Соброле) и ниже выделенных блоков запасов и ресурсов.

Сырьё характеризуется сравнительно высоким качеством по химическому составу (на уро- полярно-уральских объектов). Это заставляет обратить внимание на проявления данного формационного подтипа как на возможные источники особо чистого (или близкого к нему) кварцевого сырья (табл.8.8.).

8.3.2. Месторождение Айшат-Кули

Месторождение Айшат-Кули является основным хрусталеносным объектом Дагестанского района, расположенного на северном склоне Главного Кавказского хребта (восточной его части). Район является типичной высокогорной страной с высотными отметками до 3500-4000 м и превышением до 2800 м. Основные хрусталепроявления района (включая Айшат-Кули) находятся в верховьях р. Аварское Койсу и её притоков (р. Гидатл протекает в непосредственной близости от месторождения). Ближайший к месторождению посёлок Кособ – в 4 км, соединен с ним выючной тропой; через посёлок проходит автодорога (до г. Махачкала 200 км).

Месторождение было выявлено в 1950г. в процессе поисковых работ на пьезокварц Дагестанской экспедицией Азербайджанского ГУ (А.Г. Дубогрызова и др.) и изучалось (разведывалось и частично эксплуатировалось) до 1955г. (Н.М. Ивкин, Н.А. Аркадьев, В.А. Макаров и др., Кавказская экспедиция). Наряду с Айшат-Кули, за этот период был выявлен ряд других хрусталепроявлений (Шайтли, Гарбутли, Башня, Тлим-Капусли и др.), менее значительных по сравнению с этим объектом.

Площадь развития хрусталеносной минерализации в верховьях Аварского Койсу захватывает три тектонических зоны (по В.Д. Голубятникову, 1952г): зону аспидных сланцев Главного хребта, Бежутинскую депрессию и зону сланцев Бокового хребта (Аркадьев Н.А., Макаров В.А., 1954г.; Никитичев П.И., 1951г.). Зоны аспидных сланцев и Главного, и Бокового хребтов в основном сложены глинистыми сланцами, аргиллитами с пластами песчаников нижнего отдела юрской системы (средний лейас-тоар), с типичным флишевым характером разреза. Пласты песчаника достигают мощности 35 м и более (до 65 м), являясь основными маркирующими горизонтами.

Бежутинская депрессия сложена более молодыми породами (верхний тоар – нижний ааллен), выделяемыми в бежутинскую свиту. Это также флишевая толща, с переслаиванием глинистых сланцев и песчаников, при ограниченной мощности последних (не более 0,5 м). Осадочные отложения прорваны дайками диабазов, кварцевых диоритов, диабазовых порфиринов и др., занимающих секущее положение ко всем породам. Возраст даек датируется пост-среднеюрским периодом (палеоген?).

Общее строение района отражает генеральный характер складчатости Большого Кавказа. Основная складчатость проявлена в виде изоклинальных, часто опрокинутых складок, а также нормальных, лишь иногда асимметричных структур. Преобладающее простирание складчатости – субширотное ($280-300^\circ$); возраст – альпийский. Более поздние её этапы проявились развитием перегибов складок, секущих основную складчатость. Пликативные структуры осложняются разрывными зонами разных масштабов – от мощных разломных зон до мелких трещинных структур (включая кливаж). Преимущественно это субсогласные крутопадающие нарушения ($nd\ 60-80^\circ$, к Ю-З). Основные системы – минерализацию, в т.ч. хрусталеносную. Позднейшие дизъюнктивы лишены минерализации и секут ранее образованные кварцево-жильные тела (рис. 60.).

Месторождение Айшат-Кули локализовано в песчано-сланцевой толще нижнего тоара, смятой в субширотную брахиантиклинальную складку. В ядре брахиантиклинали залегает пласт кварцитовидных мелко-среднезернистых песчаников мощностью до 30-35 м. Песчани-

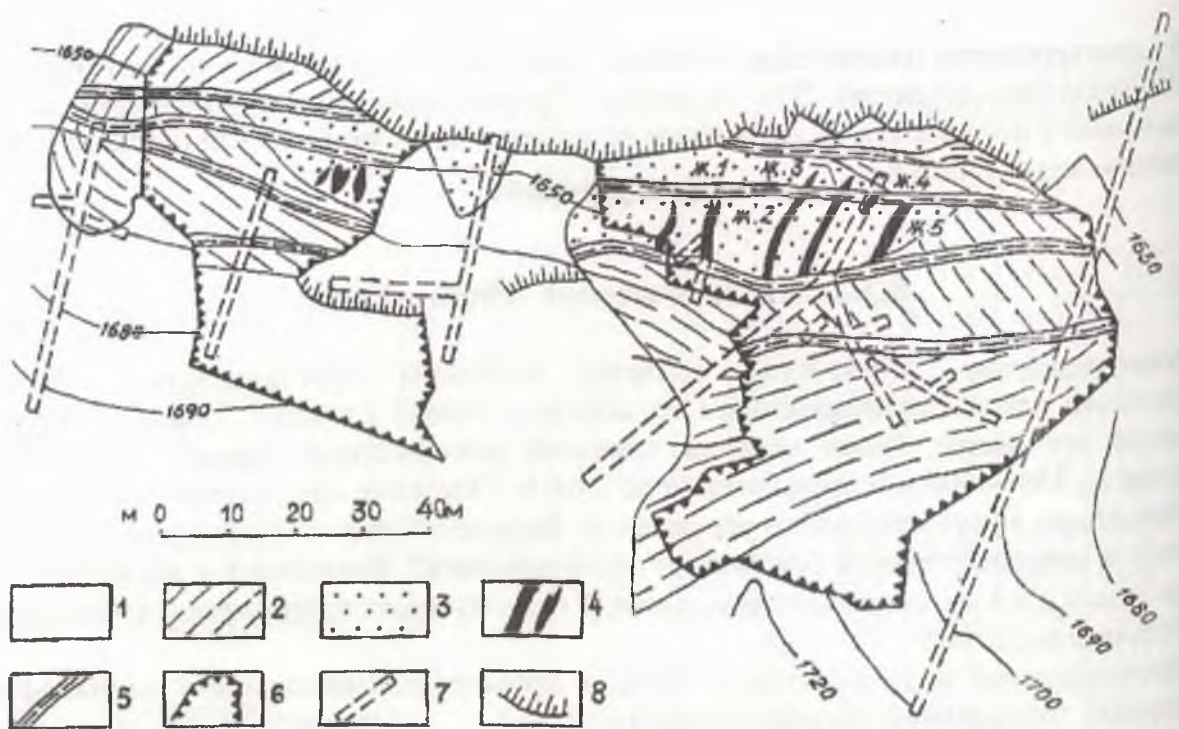


Рис. 60. Геологический план месторождения Айшат-Кули (по И.А. Аркадьеву, 1959г.)

1 – делювий. 2 – алевролитоглинистые сланцы. 3 – песчаники. 4 – кварцевые жилы с хрусталеносными гнездами. 5 – разрывные нарушения. 6 – карьеры. 7 – штольни. 8 – обрывы

ки – плотные, вязкие, в зонах нарушений преобразованы в дресовидную желтовато-бурую породу с большой примесью глинистого материала. Пласт песчаников перекрывается темными серыми алевролитоглинистыми пластичными сланцами. И песчаники, и сланцы рассечены несколькими малоамплитудными разрывами субсогласного со складчатостью залегания. Установленная амплитуда вертикальных перемещений в плоскости нарушений порядка 35-40 м, падение под углом 50-80° в южные румбы. Нарушения в сланцах проявлены в виде зон милонитизации мощностью 0,2-0,5 м, сопровождающихся складчатостью волочения. В песчаниках разрывы фиксируются зонами дробления мощностью до 2-4 м зонами рассланцевания.

Кварцево-жильные тела месторождения, относимые к гидротермальным образованиям, локализованы в сводовой части антиклинали, непосредственно в пласте кварцитовидных песчаников. Жилы образуют единую зону протяженностью 180 м и шириной 25-30 м, согласную с шарниром локализующей структуры; протяженность зоны по вертикали 15-18 м, погружение С-З и Ю-В под углом 10-15°. Кварцевые жилы представлены субсогласными пластово-секущими и поперечно-секущими телами, а также локальными штокверкообразными зонами (в зонах дробления). Согласные и пластово-секущие жилы маломощные (до 10 см), сложенные мелкозернистым массивным или шестоватым кварцем. Поперечно-секущие жилы – более мощные (до 1,5 м), линзо-или клиновидные, тупо-выклинивающиеся по восстанию на контакте песчаников и глинистых сланцев. Простираются этих жил – 25-60°, падение крутое (60-70°) северо-западное; протяженность в плане – 25-30 м, по падению предположительно до 15-18 м. Слагающий эти жилы кварц мелкозернистый, шестоватой или друзовой текстуры, с зональным распределением контурах отдельных тел; иногда – метаморфизован до сахаровидного или перетёртого кварцевой крошки. Кварцевые выделения в зонах дробления представлены сложными системами маломощных жил и прожилков, выполненных массивным кварцем, реже шестоватыми агрегатами.

Хрусталеносными на месторождении являются только поперечно-секущие жилы, частично – зоны дробления. Всего в границах продуктивной зоны выделено 5 таких тел.

концентрирующих практически всю хрусталеносную минерализацию. Встречено также несколько мелких «минерализованных трещин». Песчаники на контакте с продуктивным жилами часто выщелочены, осветлены. В жильном кварце отмечаются вкрапления пирита, арсенопирита, пирротина и галенита (редкие зерна – до 15-80 мм.), а также хлорит, анкерит, кальцит, изредка турмалин, альбит и др.

Хрусталеносные полости в кварцевых жилах месторождения – остаточного типа или наложенные, в интервалах повторного приоткрывания трещин. Они – щелевидные, в центральной части или в приконтактных интервалах кварцево-жильных тел, фиксируют общую их зональность (окаймлены друзовым крупнозернистым кварцем), реже – округлой формы. Гнездовое выполнение – кварцевая сыпучка, охристо-глинистый материал. Кристаллы – нарастающие на кварцевый субстрат, реже – оторванные от него вследствие пострудных дислокаций. Размеры полостей – до 2,5х2,2х0,3 м; обычно – несколько полостей в центральной части жил, сопровождаемые мелкими занорышами.

Кристаллы горного хрусталя, добытые на месторождении – среднепризматические или обелисковидные, иногда – с гемиздрическими гранями, бесцветные, с интенсивно замутненным основанием и прозрачными головками, размерами до 30х15 см. Реже – короткостолбчатые или длиннопризматические (в округлых полостях). Очень часто трещиноваты или разрушены (до обломков или галеподобных фрагментов). Обычны кристаллы с зеркальными гранями, пораженные дофинейскими и бразильскими двойниками, иногда – с присыпками (анкерит, хлорит, кварцевый материал). Двойниками поражена лишь приповерхностная часть кристаллов в зоне роста ромбоздров. Изредка в кристаллах отмечаются залеченные трещины и "голубые лучи".

Качество кристаллов горного хрусталя на месторождении Айшат-Кули обеспечивает достаточно высокий выход пьезосырья (на уровне 3-4% от всего кристаллосырья). Содержание пьезокварца, по работам 1951-52 гг., составило 8 г/м³ на жильную массу и 1,0 г/м³ на горную массу; выход плавочного сырья – не более 0,1 кг/м³ по жильной массе (сырье малоразмерное, при введении механического обогащения возможно увеличение выхода до 0,3 кг/м³).

Сортность пьезосырья (ориентировочные цифры): высший и I сорт – 66%; II сорт – 13%; III сорт – 7%, маломерка – 14%. При отработке месторождения добыто 45 кг моноблоков пьезокварца. Оставшиеся подсчитанные запасы – около 120 кг (C₁+C₂), подсчет 1952 года.

По заключению Н.А. Аркадьева и В.А. Макарова (1955г.) указанные параметры минерализации месторождения работами 1953-54гг. не подтвердились (подтверждаемость содержания сырья на уровне 15-20%). Даже при ранее определенных показателях добычные работы не обеспечивают минимальной экономической рентабельности на их проведение. Запасы закономерно исключены из государственного баланса. Реальных перспектив на выявление промышленных хрусталеносных блоков пьезокварца по месторождению Айшат-Кули нет. Возможно (по аналогии с объектами Рачинского узла) выделение незначительных объемов жильного кварца с повышенными качественными характеристиками, однако его запасы здесь крайне ограничены и практического интереса не представляют.

9. РОССЫПНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ СВЕТЛОЕ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Месторождение Светлое (или Светлинское) расположено на восточном склоне Южного Урала (Челябинская область), в лесостепной зоне. Рельеф месторождения – сглаженный, абс. отм. 300-350 м. Район относится к легко доступным, экономически освоенным, с хорошо развитой дорожной сетью (магистральные шоссе, насыпные и грунтовые дороги).

Месторождение выявлено в 1937г. (Ступин Н.И.), с 1939г. по 1975 год являлось объектом интенсивных разведочных и эксплуатационных работ. С 1976г. работы на месторождении практически полностью прекращены в связи с отработкой промышленных запасов. Осваивалось главным образом экспедицией №101 (ПО "Уралкварцсамоцветы") привлечением научных кадров г.г. Свердловска, Москвы, Ленинграда. Наиболее ощутимый вклад в его изучение внесли Шарманов П.Г., Павлова В.Т., Аношкин Я.К., Ланецкий А.А., Болтыров В.Б., Ануфриев Ю.Н., Эшкин В.Ю., Карякина Т.А., Дубенюк Н.И., Соколов Ю.П., Петруха Л.М., Поленов Ю.А., Хохлачев А.П., Таланцев А.С. и др.

В основу приводимого раздела по месторождению положены материалы Л.М. Петрухи, А.П. Хохлачева, Ю.А. Поленова и др., изложенные в монографии "Геология основных месторождений кварцевого сырья" (Урал), подготовленной А.А. Евстироповым, Ю.П. Бурьяном и др. (1995г.), данные Ю.Н. Ануфриева (1973г.), В.Ю. Эшкина и др. (1970г.).

В качестве промышленно-продуктивных объектов на месторождении выступают хрусталеносные россыпи, хотя установлены и коренные источники горного хрусталя – кварцевые жилы и пегматиты. Однако они не образуют в современном срезе крупных рентабельных для отработки жильных образований, и в настоящем разделе детально рассматриваются.

Геологическое строение месторождения

Площадь Светлинского месторождения располагается в западной части Кочкарского антиклинория, в зоне западного экзоконтакта Борисовского гранитного массива (Ануфриев Ю.Н., Крылова Г.И. и др., 1973г.). Оно непосредственно приурочено к зоне сочленения Еремкинской (с севера), Борисовской (с востока) и Санарской (с юга) брахиантиклинальных разделяемых Светлинской седловидной структурой и Южно-Санарской синклинальной. Локализирующие структуры осложнены более мелкими складками, флексурами, будничными структурами. При этом пликативные формы резко доминируют над разрывно-блоковыми структурами. Из последних достаточно четко фиксируются лишь субмеридиональные разрывы (Западный, Светлинский, Санарский региональные разломы), а также Центральные и Восточный сбросо-сдвиги. Относительно отчетливо проявлены также системы северных и восточных нарушений, зоны трещиноватости, оперяющие главные дизъюнктивы; в том числе субширотные. Сочетание пликативных форм и дизъюнктивной тектоники определяет комбинированный характер структуры жильного поля (рис. 61.).

Литолого-стратиграфический разрез площади месторождения (жильного поля) представлен породами трех разновозрастных комплексов. В его основании залегает гнейсовая толща, образованная пара-и ортогнейсами нижнего палеозоя. Продуктивная минерализация данная толща не несет. Основную часть разреза представляют нижнесилурийские кристаллические сланцы, амфиболиты и мраморы, из которых сланцы и амфиболиты являются локализаторами хрусталеносных кварцевых жил. Среди кристаллических сланцев в основании сложена биотит-плагиоклаз-кварцевыми, ставролит-кварцевыми, графитовыми разностями и кварцитами. Средняя ее часть образована биотит-

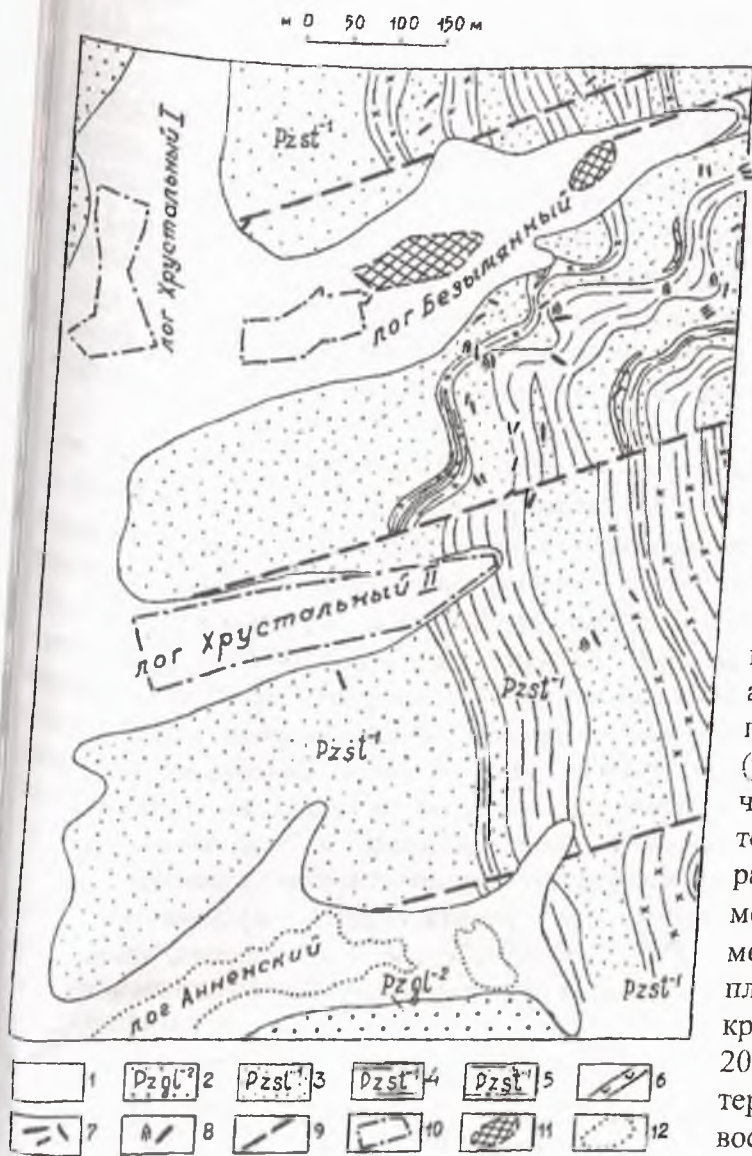


Рис. 61. Месторождение Светлое.

Геологический план участка Хрустальный
(по Н.Н. Дубенюк и др., 1972г.)

- 1 – рыхлые отложения. Палеозойские отложения. 2 – сланцы графитсодержащие биотит-кварцевые с гранатом; 3 – сланцы биотит-серицит-кварцевые со ставролитом; 4 – сланцы биотит-плаггиоклаз-кварцевые со ставролитом. 5 – сланцы биотит-кварцевые с гранатом; 6 – амфиболиты; 7 – кварцевые жилы. 8 – кварцевые жилы с кристаллами кварца. 9 – предполагаемые тектонические нарушения. 10 – хрусталеносные россыпи. 11 – участки концентрации кристаллов кварца. 12 – контуры подземной отработки россыпи лога Анненского

Наиболее поздними литологическими комплексами на площади месторождения являются кайнозойские отложения. Они формировались в понижениях рельефа, на мезозойской коре выветривания. Это, в основном, пестроцветные глинистые породы кустанайской (N_2^3), аральской (N_1^{1-2}) и наурзумской (Pg_3^3) свит. Средняя мощность этих отложений – порядка 7 м. В низах этих образований, обогащенных песчано-обломочным материалом, сформировались хрусталеносные россыпи.

кварцевыми и двуслюдяными породами, также со ставролитом, в них концентрируется большая часть хрусталеносных тел сланцевой толщи. Верхняя свита серии представлена графитсодержащими породами; к ним приурочены тела амфиболитов и гранит-аплитов, вмещающих хрусталеносные образования. Завершают разрез палеозойских отложений углистые сланцы, бластоосаммиты и бластоосефиты нижнекаменноугольного возраста, не несущие хрусталеносной минерализации. Однако они являются основным её экранирующим элементом.

Магматические образования на площади месторождения представлены апогаббровыми амфиболитами и гранит-аплитами. Амфиболиты (развиты в восточной и центральной части площади) образуют в основном тела плито- и линзообразной формы; размерами по простиранию в сотни метров, по падению – до 50-60 м, по мощности – до 7 м. На востоке площади зафиксирован относительно крупный массив с размерами в плане 2000х400 м. В дайковых телах, характеризующихся повышенной натриевостью (Na_2O от 0.8 до 3.5%), сосредоточена основная масса выявленных на месторождении хрусталеносных кварцевых жил.

Гранит-аплиты развиты в восточной половине Светлинского поля в виде плитообразных тел размерами от 50х2м до 2000х20м, крутого и пологого залегания. С гранит-аплитовыми телами пологого залегания связаны хрусталесодержащие камерные пегматиты с характерной правильной зональностью и минерализацией.

Особенности хрусталесодержащих образований

Коренные хрусталеносные образования – кварцевые жилы и пегматиты – характеризуются специфическими особенностями залегания и морфологии (Ануфриев Ю.Н., Крылова Г.И. и др., 1973г.; Петруха Л.М. и др., 1971г.).

Кварцевые жилы в амфиболитах – незначительных размеров (в среднем 5.0х3.0х0.5м), уплощенно-линзовидной формы, преимущественно кварц-полевошпатового состава (Хохлачев А.П., 1975г). Они часто образуют лестничные системы в дайках амфиболитов. Хрусталеносные полости – наложенного типа, небольших размеров (до 2.0х1.3 м), локализованные в "донной части" жил. Полости сопровождаются ореолами альбитизации и хлоритизации, мощностью до 0.8 м. Гнездовое выполнение (по Л.М. Петрухе и др.) – охристо-глинистая масса, с обломками жильного кварца и вмещающих пород, с обилием амфибола, хлоритов, рутила, включениями гематита, пирита, колумбита, серицита, альбита и др.

Кварцевые жилы в кристаллосланцах – также небольших размеров (до 30х5 м), но с более крупными их скоплениями ("узлами"), параметры последних – до 140х40х40 м. Выделяются жилы более древние – с катаклазированным и гранулированным кварцем, и более молодые – с крупно-гигантозернистым массивным кварцем. Хрусталеносными являются только последние, характеризующиеся крутым, как правило – секущим, залеганием, линзо-и плитообразной формой. Обычная их длина – 10-15 м, мощность – 0.5-0.7 м с характерным северным склонением; часто отмечается их кулисообразное расположение вдоль межформационных срывов. Хрусталеносные полости имеют самые различные параметры (в целом более крупные, чем в жилах амфиболитовых тел); максимальные размеры до 10х2.7х0.9 м. Они локализованы на участках выклинивания тел по падению, простиранию или склонению. Окологнездовые изменения до 4 м от границ гнезд. Проявлены в виде серицитизации (мусковитизации), альбитизации и хлоритизации пород. Состав метасоматитов на границе гнезд – мусковит (30-40%), альбит (20%), кварц (20%), хлорит (5-10%). Гнездовая масса – из хлорита, слюдистых минералов, каолинита-диккита, альбита, с выделениями пирита, рутила, гидроокислов Fe, турмалина и др.

Пегматитовые тела – в основном неправильно-линзовидной формы, разной крутизны залегания. Длина их – метры (до десяти метров), мощность в раздувах до 3.5 м. В зональных телах с кварцевыми ядрами встречаются хрусталеносные полости до 1.5 м в поперечнике. Состав пегматитов – микроклин, олигоклаз, кварц, мусковит. В полостях обычны горный хрусталь, берилл, турмалин, альбит, кальцит, мусковит, встречаются гранат, колумбит, топаз, лепидолит, ксенотим. Около гнезд микроклин замещен мусковитом, в подгнездовом пространстве – проявлена интенсивная альбитизация, выщелачивание кремнезема. Мощность зоны изменения пегматитов (и частично – аплитов) – до 2.5 м. Гнездовое выполнение – полевошпателюдистая сыпучка и глинистые продукты ее переработки.

Практическое значение коренных источников пьезооптического сырья крайне ограничено. Промышленный интерес представляли лишь пролювиально-аллювиальные хрусталеносные россыпи, источником которых явились и кварцевые жилы, и пегматиты. Всего на площади месторождения выявлено (по Ю.А. Поленову) 12 промышленно-хрусталеносных россыпей. Они приурочены к древним (третичным) логам, сформировавшимся на каолиновых корках выветривания. Лога характеризуются неправильно-линейными контурами, их средние размеры – 1200х200 м, максимальные – до 5000 м. Днища логов имеют ступенчатый продольный профиль с горизонтальными отрезками длиной 100-400 м. Поперечные их профили – чашеобразные, с асимметричными бортами; углы наклона последних – 5-10 (до 30°). Наибольший уклон логов по тальвегу от 0.25 до 0.34 ед.

Россыпи горного хрусталя занимают отдельные участки логов. Средняя их длина 900 м, ширина 90 м. При этом промышленные участки в плане составляют (как и локализирующие их выположенные участки логов) не более 400х45 м. Мощность продуктивного слоя, связанного с песчано-обломочными отложениями в основании палеоген-неогеновой толщи, составляет около 1 м. Распределение кристаллосырья в россыпях кустовое или струйчатое, но в границах промышленных участков относительно выдержанное. Обычно здесь выдержана и сортность извлекаемого сырья.

Все россыпи месторождения в различной степени обводнены (водоприток 20-25 м³/сутки), сопровождаются участками "плывунов". Это существенно осложняет и разведку, и отработку объектов.

Характеристика кварцевого сырья

Кварцевые жилы и пегматитовые ядра коренных объектов Светлинского месторождения слагаются серым – светло-серым кварцем разномзернистой (от мелко-до гигантозернистой) структуры, отдельные жилы сложены молочно-белым кварцем. Текстура кварца массивная, реже – полосчатая. Часто кварц стекловатый, полупрозрачный; как правило трещиноватый, ожелезненный. По составу химических примесей кварц из объектов всех типов не представляет практического интереса – повсеместно устанавливается резко повышенное содержание *Fe*, *Ca*, *Al* (табл. 9.1). К тому же масштабы кварцево-жилых тел весьма ограничены.

Таблица 9.1.

Химический состав различных типов кварца Светлинского месторождения

Кварцевмещающие компоненты	Содержание элементов-примесей, n 10 ⁻⁴ % (среднее)											Свето-пропускание, Г, %
	Al	Fe	Mg	Mn	Ti	Ca	Cu	Na	K	Li	Σ	
<u>Жильный кварц хрусталеносных объектов</u> (по Л.М. Петрухе)												
Амфиболиты	88,1	241	10,7	3,7	7,4	8,1	1,6	11,8	19,5	10,5	402,6	58
Кристаллические сланцы	72,0	482	6,0	4,4	9,8	27,1	1,4	13,9	7,6	6,8	645,0	42
Пегматиты	121,8	262	2,3	2,0	8,2	6,3	0,8	12,1	15,4	4,0	433,9	48
<u>Жильный кварц нехрусталеносных жил</u>												
Амфиболиты	58,0	37	4,5	3,4	4,0	11,0	8,0	80,0	42,3	3,8	248,8	
Кристаллические сланцы	249,0	302	13,0	12,3	5,8	30,8	3,6	60,4	22,4	3,5	681,8	
<u>Кристаллы горного хрусталя</u> (по Ю.Н.Ануфриеву)												
Амфиболиты	112,5	451	186	5,4	6,7	37,5	0,8	25,0	17,8	4,3	844,0	
Кристаллические сланцы	116,0	500	13,8	5,4	2,0	28,0	3,2	19,0	7,2	7,0	702,0	

Кристаллы горного хрусталя и коренных, и россыпных объектов характеризуются в целом невысоким качеством (табл. 9.1.). В основном это дымчатые кристаллы разной интенсивности окраски, иногда с внешней аметистовой зоной, коротко- и среднепризматические в пегматитах, средне-длиннопризматические и обелисковидные в кварцевых жилах. Размеры кристаллов – десятки сантиметров по L_3 и массой до 10-15 кг, максимальные размеры имеют кристаллы из жил сланцевой толщи, где встречен кристалл весом 3500 кг. Для кристаллосырья в целом характерны:

- дофинейские двойники, бразильское двойникование – лишь в сырье из кварцевых жил;
- мозаичность (особенно в кристаллах из пегматитов);
- трещиноватость (и залеченные, и сухие трещины);
- твердые минеральные включения: альбит, мусковит, турмалин, галлуазит – для сырья из пегматитов, хлорит, рутил, альбит – для сырья из кварцевых жил;
- ГЖВ с гидрокарбонатно-хлоридно-кальциевым (натриевым) типом растворов, иногда – с сульфатной составляющей (в сланцах).

Для кристаллосырья из амфиболитов фиксировалось относительно более высокое качество; то же установлено и для кристаллов из россыпей, где преобладает сырье из жил этого типа.

Из кристаллов всех типов обеспечивается удовлетворительный выход пьезокварца, на уровне 0.31-0.43%, при его невысокой сортности. Плавочное сырье из кристаллов по своим физическим характеристикам относится к достаточно высоким сортам (табл. 7.3.). Однако в кристаллосырье всех типов отмечалось резко повышенное содержание Al , Fe , Ca при высоком содержании щелочей (табл. 9.1.). Выход плавки невысок (29-32%). В этой связи, при современных требованиях к составу плавочного сырья, ценность кристаллов для использования в этом направлении резко снижается.

Практическая оценка месторождения

Светлинское месторождение относится к числу немногих в России крупных пьезокварцевых объектов. Оно успешно обрабатывалось (с перерывами) в течение почти 35 лет (с 1938г. по 1972г.). При такой достаточно интенсивной эксплуатации к настоящему времени оно отработано более чем на 90%, хотя часть балансовых запасов (около 10%) сырья на месторождении сохраняется. В настоящее время объект законсервирован из-за отсутствия спроса на природное пьезосырье. К тому же наиболее продуктивные россыпи (лога 1-й Хрустальный, Косаревский, Восточный) за период эксплуатации полностью отработаны. На оставшихся участках, с выходом пьезосырья из продуктивной породы россыпей порядка 1 г/м^3 , при низкокачественном (из-за химического состава) горном хрустале для плавки, отработка в сегодняшних экономических условиях нерентабельна (табл. 9.2.) То же относится и к коренным объектам месторождения, которые никогда и не рассматривались в качестве промышленных источников пьезооптического сырья. Достаточно сказать, что к 1972г из 47 жил, разведанных в кристаллосланцах, добыто всего 125 кг мнбл пьезокварца, из амфиболитов – 21 кг.

Уровень опосредованности и разведанности выявленных к настоящему времени хрусталепоказаний на площади Светлинского поля в целом таков, что не позволяет говорить о существенных нереализованных его перспективах. Оцененные на его площади прогнозные ресурсы категории P_3 в обозримом будущем не могут рассматриваться в реальной плоскости. Целесообразность их освоения в ближайший период отсутствует. Выделенная в 1973г. (Ю.Н. Ануфриев, Л.М. Петруха и др.) в качестве наиболее перспективной площадь развития амфиболитов с потенциальной хрусталеносностью (южнее уч. Аметистовый, к С от россыпи Надежная) требует для своего изучения значи-

тельных затрат. При отсутствии спроса на природный пьезокварц постановка масштабных поисковых работ на данной площади нереальна.

Таблица 9.2.
Типовые геолого-технические характеристики хрусталеносной россыпи
(месторождение Светлое, лог Граневой)

№№ пп	Наименование показателей	Ед. измерений	Численные значения
1	Площадь россыпи общая	м ²	560000
2	Количество продуктивных участков	ед.	4
3	Общая площадь продуктивных участков	м ²	35540
4	Коэффициент продуктивности россыпей	%	6,3
5	Мощность «торфов» (глины, глинисто-песчанистые отложения), средняя	м	16,2
6	Мощность «песков» (кварцево-ставролитовые, с обломками кварца, галькой горного хрусталя)	м	0,45
7	Коэффициент вскрыши россыпи	м ³ /м ³	≈28,5
8	Запасы: пьезокварца, мнбл	кг	558,8
	горного хрусталя для плавки	т	2,86
9	Содержание (на продуктивную породу): пьезокварца (мнбл)	г/м ³	34,5
	горного хрусталя для плавки	кг/м ³	0,19
10	Выход из кристаллосырья: пьезокварца	%	4,4
	горного хрусталя для плавки		22,6
11	Минимальное промышленное содержание пьезокварца на продуктивную породу	г/м ³	≈28,5
12	Водоприток в шурфы-шахты	м ³ /час	до 12,5

Данные Л.М. Петрухи и др., 1971г.

10. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

В границах России и на прилегающих территориях, как это видно из выше приведенных материалов, месторождения горного хрусталя представлены объектами шести генетических типов. Особенности размещения и минерализации этих объектов отражены в предыдущих главах и в прилагаемой сводной таблице (табл. 10.1). Для большей части генетических типов рассмотренные месторождения являются единственными промышленными объектами, и указанные материалы по сути отражают главные особенности локализации этих формационных образований. Исключение составляют объекты главной хрусталеносной формации — хрусталеносных кварцевых жил, представленных многочисленными месторождениями, относящимися как минимум к пяти структурно-формационным типам (субформациям). Представления об общих закономерностях размещения и особенностях минерализации этой формации отражены в ниже приводимых разделах.

10.1. Закономерности размещения объектов хрусталеносной кварцево-жильной формации

При рассмотрении условий локализации хрусталеносных объектов разного таксономического уровня (провинций, районов, полей и конкретных месторождений) устанавливается их определенная неоднозначность. При этом чем локальнее таксономический уровень этих образований, тем более проявляется многообразие форм их размещения, достигая максимума для конкретных месторождений и хрусталепроявлений. Тем не менее на уровне тенденций закономерности размещения объектов могут быть намечены для каждого из перечисленных уровней хрусталеносных образований; особенно, если рассматривать реально продуктивные (промышленно хрусталеносные) структурно-формационные типы.

Геотектоническая позиция хрусталеносных провинций и автономных районов определяется их приуроченностью к геоструктурным формам двух основных типов — структурам ранней консолидации и областям завершенной складчатости. К структурам ранней консолидации относятся древние щиты в границах платформ (Алданский щит) и срединные массивы в сложных геосинклинальных системах (Центрально-Казахстанский срединный массив). К областям завершенной складчатости могут быть отнесены Уральская геосинклинальная система (герцинского тектогенеза), Верхоянская область (мезозойского этапа консолидации), Памирская и Кавказская области (мезо-кайнозойского этапа складчатости). Если рассматривать в сопоставлении все перечисленные структуры, с которыми связана хрусталеносная минерализация, то общим объединяющим их признаком является проявление поздних (постконсолидационных) процессов тектонической активизации. Однако характер и интенсивность этих процессов далеко не однотипны. Для хрусталеносного блока Алданского щита, Улутауского района (как составной части Центрально-Казахстанского массива), Памирской провинции и субпровинций Уральского региона характерны интенсивные процессы поздней тектонической — тектоно-магматической активизации. Она проявилась в виде формирования позднейших для районов сводово-глыбовых поднятий, интенсивного проявления разломной тектоники и различных форм магматической — постмагматической деятельности. С образованием хрусталеконтролирующих зон Верхне-Алданского — Верхне-Тимптонского поднятий в Южной Якутии, Восточно-Уральского поднятия и Ляпинского (Ляпинско-Исовского) антиклинория на Урале, Улутауской зоны поднятий в Казахстане, Ванч-Язгулемского и других антиклинорий на Памире. Для Верхоянской и Кавказской провинций степень

Региональные геологические позиции типовых хрусталеносных объектов

Формационные образования	Типовые объекты	Геотектоническая позиция провинций (автономных районов)	Геологическая позиция районов		Рудовмещающие комплексы	Экранирующие толщи и структуры	Соотношение минерализации с эндогенными комплексами			Практическая значимость
			в складчатых сооружениях	соотношение с разломными структурами			с интрузивами	с жильными телами	с метасоматитами	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Хрусталеносные камерные пегматиты										
а. Волынский тип	Коростенский район (Волынское месторождение)	Украинский кристаллический щит (А-PR)	Эндоконтактовая зона кольцевого Коростенского плутона	Отдельные блоки плутона обрамляются субширотными разломами	Гибридные, рапакивиоподобные граниты (γPR_2)	Габброидные породы (vPR_2)	Внутригранитные пегматиты	В пегматитовых полях редкие тела гранитпорфиров, гранодиоритов и др.	Продуктивные тела в зонах альбитизации-серицитизации гранитов	Высокопродуктивный тип
б. Казахский тип	Ц.-Казахстанская провинция (Кент)	Ц.-Казахстанская область завершённой герцинской складчатости (PZ ₃)	Зона сочленения Чингизского мегантиклинория и Балхашского мегасинклинория	Узел сопряжения разломных зон глубокого заложения	Аляскитовые порфировидные граниты (γP)	Осадочно-вулканогенная толща (C ₁), ранние граниты (γC_2)	Внутригранитные пегматиты	Пегматитовые поля насыщены жилами и мелкими дополнительными телами гранитов	Зона эндоконтактовых изменений гранитов	Тип средней-малой продуктивности
Кварцевомусковитовые грейзены	Ц.-Казахстанская провинция (Калмык-Кырган)	То же	Крыло Алкамерген-Джеландинского антиклинория	Чингиз-Тарбагатайская зона дислокаций	Биотитовые порфировидные граниты (γP)	Вулканогенно-осадочные породы (E ₂)	Залегание в апикали граптоидного массива	Пространственная связь с жилами и дополнительными интрузиями гранитов	Зоны интенсивной грейзенизации и серицитизации	Малопродуктивный тип
Высокотемпературные кварцеворудные жилы	Верхне-Буринский район (Олгинское месторождение)	Монголо-Охотская складчатая область (MZ)	Зона сочленения Ниланского антиклинория и Право-Буринского купола	Зона влияния Южно-Тукурингского глубинного разлома	Песчаники-известняки (PR ₃)	Кварцевослюдистые сланцы (PR ₃)	Экзоконтактовая зона гранитоидного массива (γK_2)	Зона развития даек плагио-порфиров	Поле очагового ороговикования, грейзенизации, скарнирования	Малопродуктивный тип
Апоскарновые кварцевые жилы	Гонамо-Учурский район (Дальнее)	Восточное замыкание Алданского кристаллического щита (А-PR), зона TMA (MZ)	Свод Аимо-Кет-Капского поднятия	Зона влияния Кет-Капского глубинного разлома	Переслаивание терригенно-карбонатных пород (PR ₃) и пластовых магматитов (δJ_3)	Пластовые тела диоритпорфиров и плагио-порфиров	Экзоконтакт диорит-сиенитового массива ($\delta \xi J_3-K_1$)	Ореол развития дайкового комплекса массива	Площадной ореол скарнирования – ороговикования пород экзоконтакта	Малопродуктивный тип

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Хрусталеносные кварцевые жилы										
а. Якутский тип	Верхне-Алданский район (Перекастное, Холодное)	Алданский кристаллический щит (A-PR), зона TMA (PR ₂)	Центрально-и Западно-Алданские блоки щита (Верхне-Алданское поднятие)	Блоки осложняются субмеридиональной (Амедицинская зона) и субширотными зонами дислокаций	Кварциты верхне-алданской свиты (A)	Гнейсы, кристаллосланцы, гнейсо-гранитные комплексы (A), blasts-милониты	Пространственная связь с аляскистыми гранитами	Зоны развития жильных гранитов и пегматитов, пояса даек	Кремне-щелочные метасоматиты (дорудные и предрудные комплексы)	Высокопродуктивный тип
б. Актасский тип	Улутауский район (Актас, Надырбай)	Погружение Ц.-Казахстанского среднего массива (PZ ₁), зона TMA (PZ ₃)	Улутауская зона поднятий	Зона влияния Улутауского глубинного разлома	Гранодиориты (0), метасланцы (PR ₂), песчаники (D)	Граница структурных этажей	Отдельные объекты залегают в гранитоидах	Зоны дорудных комплексов	Зоны альбитизации-эпидотизации, кварц-серицитовых метасоматитов	Тип средней продуктивности
в. Астафьевский тип	Южно-Уральская субпровинция (Астафьевское, Джаман-Акжар)	Уральская складчатая область (PZ ₃), зона TMA	Восточно-Уральское поднятие (обособленные ГГК)	Зона влияния ГУГР	Метавулканиты (S?-C ₁ ?)	Углистые сланцы и филлиты (C ₁)	Зоны погружения, крылья ГГК	Зоны развития тел плагиогранитов	Зоны плагиогранитизации	Высокопродуктивный тип
г. Неройский тип	Приполярно-Уральская субпровинция (Додо, Желанное, Пелингичей)	Уральская складчатая область (PZ ₃), зона TMA	Ляпинский антиклинорий Ц.-Уральского поднятия	Продольные зоны дислокаций	Метасланцы, кварциты, мрамора (PR ₃ , 0)	Осадочные породы (C), сланцы, дайки, разломные структуры	Пространственная связь с дорудными гранитоидами	Зоны развития даек разной плотности	Зоны скарнирования мраморов, кварц-серицитовые метасоматиты	Высокопродуктивный тип
д. Верхоянский тип	Верхоянская провинция (Касалин, Сакындя)	Сочленение Верхояно-Колымской складчатой области и Сибирской платформы, зона редуцированной орогении	Верхоянский мегантиклинорий (MZ)	Соскладчатые зоны дислокаций	Пласты песчаников (C ₃ -P ₁)	Пачки мелкозернистых пород (C ₃ -P ₁)	Магматизм практически не проявлен	Единичные дайковые тела	Метасоматиты не проявлены	Малопродуктивный тип
Хрусталеносные пролювиально-аллювиальные россыпи	Южно-Уральская провинция (Светлинское)	Уральская складчатая область (PZ ₃)	Кочкарский антиклинорий Восточно-Уральского поднятия, с корой выветривания (MZ)	Субмеридиональные зоны дислокаций глубинного заложения	Пласты галечников-гравелитов в основании рыхлых отложений (KZ)	Песчано-глинистые рыхлые отложения (N _{1ar})	Коренные источники россыпей:			Высокопродуктивный тип
							Жилы и пегматиты в амфиболитах, гранит-аплитах; слюдистых сланцах	Поля на участках концентрации магматитов	Локальная альбитизация, серицитизация, клоритизация пород	

проявления позднейших процессов резко редуцирована, и в отношении этих областей закономерно определение – "складчатые области со слабым орогенным развитием" (Я.Н.Соколов, А.И. Захарченко, А.В.Осинский, 1975г.). Корреляция активизационных процессов с продуктивностью провинций позволяет однозначно рассматривать хрусталеносные провинции как "активизированные консолидированные структуры земной коры". При этом промышленная хрусталеносность может быть связана только с активизированными структурами глубокой (полной) консолидации.

Вне зависимости от степени развития продуктивной минерализации данной формации, для всех хрусталеносных регионов не устанавливается прямой её связи с интрузивными образованиями. Хронологически наиболее близкими с ней являются лишь дайковые комплексы и, реже, жильные тела гранитоидов, однако и по отношению к этим магматитам хрусталеносные кварцевые жилы выступают как однозначно более поздние элементы эндогенных геологических систем.

В то же время для всех практически значимых хрусталеносных районов отмечается широкое проявление не всегда сопряженных с магматизмом метасоматических процессов, устанавливается "петрогенетическая связь хрусталеносных кварцевых жил с кварц-полевошпатовыми метасоматитами, развитыми в тектонически ослабленных зонах и блоках ..." (Я.Н.Соколов, А.И.Захарченко, А.В.Осинский, 1975г.). Их детальное изучение на примере Южно-Якутской провинции (Н.Г. Быдтасва, 1985г.) показало активную роль кремне-щелочного метасоматоза приразломного типа как в подготовке рудовмещающей среды, так и в становлении самой хрусталеносной минерализации. В качестве дорудных образований здесь выступают плагиоклазиты и микроклиниты; предрудные метасоматиты представлены их микроклиновыми, биотитовыми, эпидот-хлоритовыми и кварц-серицитовыми разностями, околосредовые – альбит-и карбонат-содержащими разностями, аргиллизитами. Хрусталеобразование выступает здесь как физико-химически детерминированный этап развития процессов метасоматического минералообразования.

В других хрусталеносных районах метасоматические парагенезисы (с определенными отклонениями в составе) являются обычными элементами вмещающих комплексов, хотя их развитие не равноценно (табл. 10.1.). Как правило интенсивное проявление дорудного-предрудного метасоматоза характерно для наиболее продуктивных и месторождений, и районов. Так, для основного хрусталеносного региона России (Южный Урал) развитие кремне-щелочных метасоматитов (*Na* специализации) имеет абсолютный характер. При этом даже формирование гранитов, наиболее близких по времени к этапу хрусталеобразования (Джабыкско-Санарский комплекс), связывается с метасоматическими процессами (Я.Н. Соколов, А.В. Осинский, 1975г.). Для П.Урала этап позднегерцинской активизации фиксируется широким развитием метасоматитов кварц-серицитовой формации (Е.И.Сорока, В.Ф.Рябинин, 1999г.). Для хрусталеносных полей Улутауского района довольно обычны метасоматиты альбит-эпидот-кварцевого, альбит-кварцевого, кварц-серицитового состава. Для Памира характерно широкое развитие альбит-карбонат-кварцевых и близких к ним метасоматических образований (А.С.Астапов и др., 1984г.).

В этой связи представляется обоснованным выделение в качестве рудообразующих формаций (проводников энергетических и вещественных потоков при хрусталеобразовании) метасоматических образований. В первую очередь к таковым относится формация кварц-полевошпатовых (применительно к Ю.Якутии, по Н.Г. Быдтасвой, кварц-микроклин-альбитовых) метасоматитов. С учётом принадлежности этих метасоматических комплексов почти исключительно к "приразломному типу", наиболее характерному для зон поздней активизации консолидированных структур, в целом хрусталеносность регионов закономерно увязывается со специфичным вариантом тектоно-магматической активизации – "тектоно-метасоматической активизацией". И общая геотектоническая позиция хрусталеносных провинций может рассматриваться как "зоны тектонической – тектоно-метасоматической

активизации структур ранней консолидации (кристаллические щиты и срединные массивы) и консолидированных складчатых областей."

Геологические позиции и особенности хрусталеносных районов (узлов) определяются их положением в соответствующих геотектонических структурах. Основные продуктивные районы однозначно связываются со сводами антиклинорных поднятий и купольными образованиями. Для Южно-Якутской провинции – это Верхне-Алданское и Верхне-Тимптонское поднятия, для Уральской провинции – Ляпинский антиклинорий и купольные структуры Восточно-Уральского поднятия, для Улутауского района – Карсакпайское и Арганатинское поднятия Улутауской антиклинорной зоны, для Памирской провинции – Ванч-Язгулемский антиклинорий и др. Районы с относительно слабой продуктивностью тяготеют к крыльям (обрамлениям) мегантиклинорных зон (Сванетско-Рачинский и Дагестанский районы Кавказа). При этом для всех основных районов намечается связь с долгоживущими глубинными зонами дислокаций, к которым относятся Главный Уральский разлом и сопровождающие его тектонические зоны, Улутауский глубинный разлом и его составляющие (типа Кыштау-Байконурской зоны разрывов), возможно – Амедичинская тектоническая зона и широтные зоны дислокаций Верхне-Алданского района и др. Как правило, основные разломные структуры располагаются на периферии хрусталеносных районов, с развитием в границах последних сопряженных с разломами зон дислокаций более высокого порядка. Данная ситуация определяет, по всей видимости, оптимальный режим развития активизационных тектоно-метасоматических процессов и тектоническую (по сути – физико-механическую) подготовку вмещающего комплекса для формирования хрусталеносных кварцевых жил.

Вне зон влияния долгоживущих разломных структур и тектоно-метасоматические процессы, и уровень трещинообразования, как определяющие факторы развития хрусталеносной минерализации, значительно редуцированы. Это обуславливает наряду с другими факторами относительно слабую продуктивность хрусталеносных районов Верхоянья и Кавказа, удаленных от главных глубинных зон дислокаций соответствующих провинций.

К главным геологическим особенностям продуктивных районов относится структурная и литологическая гетерогенность разреза, обуславливающая формирование контрастных структурно-литологических комплексов. Для Южно-Якутской провинции – это контрастирующие пласты кварцитов, бластомилонитов и гнейсово-сланцевые толщи, для Южного Урала – метавулканы и перекрывающие их метасланцы и филлиты, для Улутауского района – гранитоиды, метасланцы и терригенные породы и т.д. Если учесть, что в силу различий даже в чисто механических свойствах пород тектоно-метасоматические процессы достигали своего максимума лишь в определенных элементах разреза, контрастность вмещающей среды в гетерогенных толщах дополнительно усиливалась. Для слабо продуктивных районов (те же Верхоянская и Кавказская провинции) характерна простая литологическая неоднородность разреза, со слабо выраженной контрастностью отдельных компонентов (песчаники – алевролиты и т.п.).

Конкретный состав и вмещающих, и перекрывающих пород не играет столь определяющей роли, как это часто отмечается. Если обратить внимание в ретроспективу, в различные периоды в отношении хрусталеносной минерализации признавалась ведущая роль за Si-содержащими породами (А.И. Захарченко, [12]; Е.М. Лазько, [18]), за существенно Na-ми комплексами (А.А. Евстропов, [10, 11]; Ю.Н. Ануфриев и др., [1]), за гранитоидными или осадочными образованиями (С.Н. Венедиктов, 1958г) и др. Фактически данные выводы явились результатом "гипертрофизма местных условий", так как рассматривались, как правило, объекты лишь отдельных регионов. Из сопоставления же данных по всем изученным провинциям бывшего СССР столь однозначных определений не следует. Даже

промышленная хрусталеносная минерализация связывается с кварцевыми жилами в резко различающихся вмещающих комплексах (табл. 10.1.):

- в кварцитах (Южная Якутия, П.Урал);
- в метаморфических сланцах (П.Урал, Казахстан);
- в гранитоидах (Казахстан);
- в песчаниках – конгломератах (Памир, Казахстан, Кавказ, Верхоянье);
- в метавулканитах среднего-основного состава (Ю.Урал);
- в мраморизованных известняках (П.Урал).

Если принимать во внимание просто хрусталепроявления, то спектр вмещающих пород расширяется в ещё большем диапазоне состава и свойств. Хотя, если рассматривать не масштабы, а только количество месторождений, доминирующая роль остается за существенно кремнеземистыми породами.

То, что отличает перечисленные разности пород (да и то с определенными исключениями, например для метаморфических сланцев) – повышенная способность к трещинообразованию. При этом определяющим признаком выступает не абсолютная хрупкость или жесткость пород, а их относительные механические свойства в сравнении со свойствами окружающей среды. Как правило, необходимым моментом является развитие более пластичных перекрывающих и подстилающих толщ (гнейсов, бластомилонитов, кристаллосланцев и песчаников – для кварцитовых пластов; метасланцев и филлитов – для любых пород; алевролитов – для песчаников и т.д.). Структурные взаимоотношения вмещающих и перекрывающих толщ не являются определяющими, и контрастность разреза может достигаться или за счёт более молодых и структурно обособленных комплексов (Ю.Урал, Казахстан, П.Урал), или за счёт разновозрастных пород иного литологического состава (Ю.Якутия, "молодые" районы и др.). Роль перекрывающих комплексов проявляется, видимо, и в качестве "катализаторов" тектонической подготовки вмещающей среды, и в качестве экранирующих элементов, а поверхностей раздела (в особенности – структурно-литологических комплексов) – и в качестве коллекторов флюидопотоков. В последнем случае контролирующая роль поверхностей раздела (границ структурных этажей) резко возрастает, хотя месторождения могут располагаться в благоприятных толщах обоих комплексов (Казахстан).

Неоднозначна связь хрусталеносной минерализации с интрузивными образованиями, хотя она устанавливается для всех промышленно важных хрусталеносных районов. Эта связь проявляется или на уровне пространственной приуроченности месторождений к зонам обрамления дорудных гранитоидных массивов (П.Урал, Ю.Якутия); или на уровне парагенетических взаимоотношений (Ю.Урал), где гранитоиды являются обычными компонентами ГТК – термо-флюидо-истоков минерализации (по Г.И. Страшненко, 1979г.); или на уровне пассивной вмещающей среды (Улутауский район). Для слабо продуктивных районов молодой складчатости данный фактор проявляется в крайне ограниченных масштабах (в частности, в Верхоянской провинции выделен лишь один мелкий гранитоидный массив).

Примерно те же соотношения хрусталеносной минерализации устанавливаются и с жильными дайковыми комплексами. Они обычны для всех без исключения хрусталеносных районов. Для Южной Якутии – это жильные граниты, пегматоиды, дайки основных пород; для Южного Урала – тела плагиогранитов, дайки керсантитов и др.; для П.Урала – многочисленные дайки нестрога состава и т.д. Но если в пределах районов эти комплексы являются достаточно распространенными, то для более локальных объектов (полей, зон) развитие последних далеко не постоянно. Даже для крупных хрусталеносных объектов (типа месторождений Желанного на П.Урале, Актас в Улутауском районе) дайки могут являться по сути экзотичными проявлениями.

Все выше изложенное позволяет говорить о пространственной, в отдельных случа-

ях – парагенетической связи хрусталеносных районов с ареалами развития различных типовых и разновременных интрузивных комплексов. В то же время для них сохраняется тесное пространственное совмещение хрусталеносной минерализации с рудогенерирующими метасоматическими формациями, характерное в целом для хрусталеносных провинций.

Таким образом, в качестве специфических характеристик хрусталеносных районов, первую очередь с промышленной минерализацией, выступают:

- приуроченность к поздним антиклинорным структурам, осложненным разломными зонами глубинного заложения;
- структурная и литологическая неоднородность разреза, с чередованием контрастных по составу и физико-механическим свойствам толщ и пластов;
- проявление полихронного, в первую очередь гранитоидного, дорудного магматизма в том числе жильных и дайковых комплексов;
- наличие полей кремне-щелочных метасоматитов приразломного типа (главным образом – кварц-полевошпатовых).

Геолого-структурная позиция хрусталеносных полей и месторождений в границах районов определяется структурными осложнениями антиклинорных образований. В целом хрусталеносные поля, как проявления минерализации определенного типа, развиваются в различных осложняющих структурах. Однако в локализации площадей с промышленной хрусталеносностью, составляющих обычно не более 10-15% от общего числа полей в районе, наблюдается определенная иерархия роли структур различных типов. Однозначно проявляется доминирующая роль положительных осложняющих форм II, реже – III порядка (купольные структуры, выположенные антиклинали и т.п.). Обычно в зонах погружения и крыльях этих структур концентрируются до 70% продуктивных полей или обособленных месторождений, формирующих своеобразные продуктивные узлы и зоны. К ним могут быть отнесены Астафьевский и Адамовский (Теренсайский) узлы на Южном Урале, Суонтиит-Тонракский и Бугарыктинский узлы Ю.Якутии, Кыштау-Идыгейская зона Улутауского района и др. Менее значительную роль играют синклинальные осложнения, хотя с ними могут быть связаны крупные хрусталеносные объекты (типа месторождения Желанного П.Урала), а также линейные зоны дислокаций (типа Кыштау-Байконурской зоны разрывов Улутауского района, контролирующей такие месторождения как Акмас и Ащилысай).

Положение продуктивных полей в локализирующих структурах корректируется разрывной тектоникой. Обычно они тяготеют к зонам поперечных или радиальных нарушений (типа Татищевского сброса в Астафьевском узле, Котринского и Серекского сбросов в Кыштау-Идыгейской зоне и др.), реже – к обрамляющим купола или продольным линейным зонам разрывов. Подобные структуры выполняют, видимо, функцию главных рудоподводящих каналов гидротермальных потоков, обуславливающих формирование хрусталеносных кварцевых жил. Рудораспределяющую роль играют, чаще всего, зоны межформационных срывов и оперяющие разрывные структуры более высоких порядков.

При достаточно однозначных позициях хрусталеносных (с промышленной минерализацией) жильных полей и обособленных месторождений, конкретные структуры этих образований весьма разнообразны. Можно выделить до 10 структурных форм (как правило III-IV порядка) локализации хрусталеносных полей. В пределах полей выделяется чаще всего лишь один промышленный объект, или сами поля рассматриваются в качестве месторождения. Поэтому в практических целях обычно рассматриваются структуры локализации самих месторождений. В этом случае многообразие структурных форм хрусталеносных объектов возрастает еще более. И если в пределах России и стран СНГ выделено порядка 78 месторождений горного хрусталя, связанных с формацией хрусталеносных кварцевых жил, то их структуры могут быть отнесены примерно к 15-16 типам. С учетом того, что определенные условия локализации характерны для месторождений конкретных регионов, то рассмотрение этих структур в обобщенном вари-

анте себя не оправдывает.

То же можно сказать в отношении литологических условий размещения хрусталеносных кварцевых жил. Продуктивные поля и месторождения фиксируются в самых различных условиях (до 12-13 типов вмещающих пород), в связи с чем имеет смысл рассматривать и этот параметр лишь в границах конкретных районов и провинций.

В то же время, в отношении крупных – уникальных месторождений (группа КУМ) намечаются более узкие рамки геолого-структурных условий локализации, в определенной мере общие для различных регионов. В этой связи более детальное рассмотрение этих условий проводится на примере крупных – уникальных хрусталеносных объектов.

10.2. Геолого-структурные условия локализации крупных и уникальных месторождений горного хрусталя

Определяющими критериями крупных и уникальных месторождений (КУМ) для неметаллических полезных ископаемых являются масштабы минерализации и уникальность свойств извлекаемых полезных компонентов (Ю.М. Соколов, 1994г.). Хрусталеносные месторождения служат источником как рядового горного хрусталя, используемого в качестве сырья для плавки прозрачного кварцевого стекла, так и уникальных по своим свойствам бездефектных монокристаллов (пьезооптический кварц). В этой связи при выделении хрусталеносных объектов группы КУМ необходима принципиальная дифференциация месторождений, во-первых – по общим масштабам минерализации, во-вторых – по концентрации уникального полезного компонента (пьезокварца). Соответственно наиболее объективным показателем общих масштабов хрусталеносности являются запасы горного хрусталя для плавки, масштабов развития уникальных разностей кристаллов – запасы пьезооптического кварца. Градация месторождений по масштабам минерализации в наиболее приемлемом варианте математических декад (В.И. Красников, 1965г.) представлена в классификации ВНИИСИМС (Ю.А. Шатнов, 1985г.). В частности для месторождений плавочного горного хрусталя порядок определяющих цифр следующий:

- мелкие объекты – до 100 т,
- средние – 100-1000 т,
- крупные – более 1000т.

Исходя из отмеченных параметров, для основных хрусталеносных регионов бывшего Союза устанавливается развитие лишь единичных объектов группы КУМ. В грубом приближении, учитывая количество добытого сырья, подтверждающихся запасов и учтенных прогнозных ресурсов (табл.10.2), в качестве объектов группы КУМ можно выделить [31];

– по Приполярно-Уральской субпровинции – месторождения Желанное (по горному хрусталю, по пьезокварцу – средний объект), Пелингичей (только по пьезокварцу), Додо (только по горному хрусталю);

– по Южно-Уральской субпровинции – месторождение Астафьевское (и по пьезокварцу, и по горному хрусталю в целом)*;

– по Южно-Якутской провинции – месторождение Перекатное (и по пьезокварцу, и по горному хрусталю в целом);

– по Памирской провинции – месторождение Миона-Дара (по пьезокварцу);

– по Улутаускому району – месторождение Актас (по горному хрусталю, по пьезокварцу – средний объект).

* - Месторождение Джаман-Акжар не включается в группу КУМ из-за неподтверждаемости запасов

Приближенные соотношения между количествами плавочного горного хрусталя и пьезооптического кварца, в целом отражающие выход последнего из кристаллосырья, различны для трех групп объектов (табл. 10.2):

I группа – доля пьезокварца на уровне $n\%$ или десятков % (Астафьевское, Пелингичей, Перекатное, Миона-Дара),

II группа – доля пьезокварца на уровне десятых долей % (Желанное, Актас);

III группа – доля пьезокварца на уровне сотых долей %, т.е. пьезокварц является лишь

попутным компонентом (Додо).

Исходя из общей ценности основного компонента, месторождения I группы являются преимущественно пьезокварцевыми, II группы – комплексными и III группы – существенно плавочными хрусталеносными объектами. Сравнительный анализ условий локализации каждого из них в пределах соответствующих регионов отражен в таблице 10.3.

Из сопоставления геологических характеристик месторождений вытекает достаточно четкая дифференциация объектов выделенных групп по ряду геолого-структурных элементов контроля.

Группа I – крупные и уникальные месторождения пьезокварца, формирующие-ся в условиях, максимально способствующих образованию длительно существующих относительно закрытых гидротермальных систем объемами до 10^6 млн м³. Морфологически это системы сложных жильных зон (штокеркообразные зоны по В.П. Дроздову) протяженностью до

первых км и вертикальным размахом до 200-300 м [10]. Как правило – с интенсивной дорудной – предрудной переработкой пород в контурах зон, с четкой "зональностью месторождения" в вертикальном разрезе, при экранировании минерализации со стороны надрудных толщ. Типовой разрез гидротермально-метасоматической колонки (от корневой фронтальной части): альбитизация (карбонатизация) → серицитизация → хлоритизация → аргиллизация (месторождение Астафьевское); при сплошном или фрагментарном строении ореолов.

Главные геолого-структурные элементы контроля хрусталеносных месторождений I группы:

- зоны замыкания и своды антиклинальных структур II-III порядка;
- первичные литологические блоки-линзы или пласты благоприятных для трещинообразования пород с оптимальными линейными параметрами (протяженность до первых км, мощность – первые сотни м), вмещающие продуктивную минерализацию;
- гетерогенное строение вмещающих толщ, обусловленное первичными (слоистостями или вторичными (дорудные дайки, трещинные структуры и др.) элементами неоднородности);
- интенсивное развитие дорудных-предрудных метасоматитов, в первую очередь кварц-полевошпатовых;
- контрастные по отношению к вмещающим породам (в первую очередь – по физико-

Таблица 10.2.

Соотношение запасов пьезокварца и горного хрусталя для плавки месторождений группы КУМ

№№ пп	Наименование месторождений	Доля пьезокварца, по отношению к плавочному сырью, %
Группа I		
1	Астафьевское	2,8
2	Пелингичей	>10,0
3	Перекатное	1,0
4	Миона-Дара	4,7
Группа II		
5	Желанное	0,6
6	Актас	0,6
Группа III		
7	Додо	0,09
8*	Пуйва	0,06
* – Месторождение Пуйва однотипно с месторождением Додо, но не входит в группу КУМ		

механическим свойствам) надрудные толщи. Как правило – более пластичные, достаточно инертные в химическом отношении;

– умеренная тектоническая проработка вмещающих блоков (достоверно установленная амплитуда смещений рудоподводящего разрыва на Астафьевском месторождении 42 м).

– положение месторождений преимущественно на периферии зон влияния глубинных разломов.

С максимальной четкостью все перечисленные факторы проявились на Астафьевском месторождении. Это, видимо, и определило его значение в качестве уникального по масштабам пьезокварцевого объекта.

Объекты не имеют узкой избирательной связи с первичным составом вмещающих толщ. Месторождения локализованы:

– Пелингичей – в мраморах кальцитового или доломитового состава;

– Астафьевское – в метавулканитах, т.е. в метаморфизованных до зеленых сланцев излаочно-вулканогенных породах среднего (до основного) состава;

– Перекатное – в кварцитах (мономинеральных или полевошпатовых, реже – илиманитовых);

– Миона-Дара – в полевошпат-кварцевых и кварцитовидных песчаниках.

То же можно сказать и в отношении влияния дорудных-предрудных наложенных комплексов: для месторождения Перекатное характерны преимущественно микроклиновые метасоматиты, для Астафьевского – инъекционные и метасоматические тела состава плагиогранитов. И оба объекта являются достаточно "яркими" представителями группы КУМ.

Суммарное влияние состава вмещающих комплексов проявляется, видимо, лишь в их пьезокварцевой специализации и специфичных характеристиках сырья отдельных объектов. Так, максимальный выход пьезокварца, в том числе высших сортов, установлен для месторождения Пелингичей, со специфичным карбонатным ($Ca-Mg$) составом вмещающих пород. В составе щелочных примесей в горном хрустале Астафьевского месторождения резко преобладает Na , в то время как для Перекатного существенна роль калиевой составляющей; влияние состава дорудных-предрудных даек и метасоматитов в этом случае вряд ли подлежит сомнению.

Группа II – крупные хрусталеносные месторождения с существенным пьезокварцевым компонентом – фиксирует условия мегапроцессов кварцеобразования (миллионы тонн жильного кварца) и интенсивного проявления хрусталеносной минерализации. Однако характер хрусталеносности объектов отражает пространственную связь минерализации лишь непосредственно с кварцевыми жилами. Полостные зоны преимущественно развиваются или на выклинивании (под "экраном") крутопадающих жильных тел (Желанное), или в связи с морфологически осложненными участками крупных пологих жил (Актас). Здесь же фиксируются локальные (мощностью до 15 м) зоны гидротермально-метасоматических изменений хрусталеносной стадии – серицитолиты, аргиллизиты во вмещающих породах, интенсивная перекристаллизация кварца в жильных телах.

Характерные условия локализации КУМ второй группы:

– осложненные крылья и зоны погружения локализирующих синклинальных структур;

– отчетливая пространственная связь с глубинными тектоническими зонами (Кыштау-Байконурская зона разрывов для месторождения Актас, сквозной разрывной шов вдоль оси Балбаньинской синклинали для месторождения Желанное);

– локализация в обособленных крупных (первые км) тектонических или литологических блоках;

– вмещающие породы – относительно однородные и "жесткие" (гранодиориты и кварциты), благоприятные для формирования крупных трещинных структур, со слабой

Таблица 10.3.

Геолого-структурные условия локализации крупных и уникальных месторождений горного хрусталя

Место- рожде- ние	Положение в рудоконтролирующих структурах			Соотношение с гранито- идными массивами	Структурно-литологические условия локализации				Характер экранирования хрусталиноносной минерализации	
	Складки II-III порядка	Региональные разломы	Структурно- стратиграфи- ческие границы		Вмещающие породы	Тип вмещающих блоков	Развитие дорудных – предрудных ослож- няющих комплексов	Надрудные комплексы	Генеральный экран	Локальные экраны
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Месторождения I группы (преимущественно пьезокварцевые)										
Аста- фьев- ское	Погруже- ние анти- клинали	Периферия зоны влия- ния (удале- ние 7 км)	Под границей литологических комплексов	Экзоконтак- товая зона массива пла- гиогранитов	Метавулкани- ты с реликта- ми слоистости	Литологическая линза (=3,5х0,5 км)	Интенсивное (пла- гиограниты, пла- гиоклазовые мета- соматиты и др.)	Углистые сланцы, филлиты	Углисто- сланцевая толща	Не проявлены
Пелин- гичей	Замыкание антиклина- ли	Периферия зоны влияния (5 км)	То же	Экзоконтакт гранодиори- тов	Слабослоистые мрамора	Литологическая линза (0,9х0,2 км)	Умеренное (зоны скарнирования, перекристаллиза- ции; тектониты)	Кварцево- серицитовые сланцы, гранодиориты	Сланцевая толща, частично гранитоиды	Зоны текто- нитов, пере- кристаллиза- ции (?)
Пере- кат- ное	Свод антиклина- ли	Не установлен о	То же	Экзоконтак- товая зона алескитовых гранитов	Кварциты с релик- тами полос- чатости, слоис- тости	Литологический блок-пласт (6,0х0,4 км)	Интенсивное (пег- матоиды, микро- клиновые метасо- матиты и др.)	Кристалло- сланцы, гней- сы, гранито- гнейсы	Гнейсово- сланцевая толща	Дайки, тек- тонические зоны, blasts- милониты
Мио- на- Дара	Свод антиклина- ли	Лежащий бок (в 0,5 км) разлома	Под границей раздела лито- лого-стратигра- фических толщ (свит)	Обрамление гранитоидно- го массива (в 3,5 км)	Полевовшпат- кварцевые и кварцитовид- ные песчаники	Литологический блок-линза (5,5х3,0х1,0 км)	Приразломные кварц-карбонат- альбитовые метасоматиты	Кварц-серици- товые сланцы, тонко-слоис- тые песчаники, алевролиты	Толща (свита) с переслаиванием сланцев, песча- ников, алевро- литов и др.	Прослон алевролитов и сланцев
Месторождения II группы (горный хрусталь и пьезокварц)										
Желан- ное	Крыло син- клинали	Зона влия- ния (2 км)	Над границей структурных этажей	Экзоконтак т малых тел гранитов	Монотонные кварциты	Литологический блок (в плане 4,0х1,5 км)	Не проявлены	Кварцитовид- ные слоистые песчаники, сланцы	Не проявлен (?)	Кварцево- жилые тела
Актас	Замыкание грабен-син- клинали	Зона глубинных дислокаций	Под границей структурных этажей	Вмещающая среда	Монотонные гранодиориты	Тектонический блок (в плане 2,5х0,8 км)	Разрозненные зоны эпидотизации, альбитизации	Слабо слоистые песчаники	Толща песчаников- алевролитов	Кварцево- жилые тела
Месторождения III группы (горный хрусталь для плавки)										
Додо	Свод анти- клинали	Периферия региональной зоны дислокаций	Под границей раздела слан- цевой толщи и гранитоидного массива	Зона разви- тия единич- ных штоков гранитоидов	Толща пересла- ивания кварц-се- рицитовых слан- цев, филлитов и др.	Зона субсог- ласных разры- вов (без четких границ)	Интенсивное (субсогласные дайки пестрого состава)	Гранитоидный массив (?)	Не проявлен	Дайки, дизь- юнктивы, кварцевые жилы

порудной проработкой;

– надрудные толщи – слабо контрастны по отношению к вмещающим породам (песчаники для Актасского месторождения, кварцито-песчаники с прослоями сланцев для месторождения Желанное).

В целом масштабы хрусталеносной минерализации данной группы КУМ сопоставимы с масштабами объектов I группы или даже превосходят последние (в частности – по месторождению Пелингичей). Однако из-за более низкого качества кристаллов (выход пьезокварца понижен на 1-2 порядка) месторождения II группы относятся к типу КУМ только по общему уровню хрусталеносности. В отношении пьезокварца они являются лишь рядовыми (средними) промышленными объектами.

Группа III – крупные месторождения горного хрусталя для плавки – на территории бывшего Союза представлена месторождением Додо. Оно представляет собой поле относительно рассредоточенных мелких – средних по размерам кварцевых жил и минерализованных трещин, с общим уровнем кварценосности порядка 0,3%. Хрусталеносные полости тяготеют или к контактам субсогласных даек, или к участкам выклинивания отдельных жил, или к осложнениям локальных разрывов. Гидротермальные изменения и предрудной, и хрусталеносной стадий во вмещающих породах (серицитизация, хлоритизация и др.) проявлены относительно слабо, лишь в непосредственных ореолах (мощностью в первые метры) продуктивных полостей.

Главные особенности геолого-структурного контроля месторождения Додо и аналогичного более мелкого объекта Пуйва:

- развитие в своде линейной антиклинали III-IV порядка (Додовская антиклиналь);
- локализация в непосредственной близости от глубинной зоны дислокации (Неройская зона), в границах сопровождающей последнюю интенсивно проявленной зоны субпараллельных разрывов;
- вмещающий комплекс – резко гетерогенного строения, сложенный кварц-серицитовыми, хлорит-серицит-кварцевыми сланцами, филлитами и серией субсогласных даек пестрого состава;
- отсутствие четкой связи полостей и кварцевых жил с конкретными литологическими разностями пород, неясный характер границ минерализованных зон;
- отсутствие генерального для месторождения структурно-литологического экрана.

Являясь крупными хрусталеносными объектами (или весьма близкими к ним) месторождения III группы служат источником только горного хрусталя для плавки и жильного кварца, пьезокварц проявлен на уровне непостоянного попутного компонента. Видимо, условия нестабильной тектонической обстановки и относительная скоротечность минералообразования обеспечивали рост [23] лишь дефектных кристаллов горного хрусталя (постоянно поражены свилеватостью, разнотипными двойниками; часто трещиноваты).

Структурно-тектонический анализ условий локализации хрусталеносных объектов разных масштабов проводился Ю.Н. Ануфриевым (1975г.), А.Г. Малышевым (1983г., 1986г.), Л.В. Оганесяном (1994г.) и др. Однако ими рассматривались, с получением достаточно объективных и значимых выводов, главным образом региональные минерагенические объекты (провинции, районы) и факторы контроля. Наши выводы определяют обусловленность формирования отдельных КУМ не столько региональными, сколько специфичными локальными геолого-структурными факторами, с формированием крупных месторождений горного хрусталя определенного типа даже в условиях относительно "бедных" хрусталеносных регионов (типа Улутауского хрусталеносного района).

При этом роль локальных факторов в отношении качественной специализации месторождений является ведущей. Именно локальными факторами определяется формирование даже в границах единого рудного района и даже единого продуктивного узла

крупных месторождений горного хрусталя с различным качеством сырья. Это видно на примере объектов Приполярно-Уральской субпровинции, где месторождения Желанное, Пелингичей и Додо, представляющие все три группы КУМ, локализованы в пределах одного Ляпинского района, а месторождения Желанное и Пелингичей – в едином Желаннинском хрусталеносном узле.

10.3. Генетические аспекты процессов хрусталеобразования

Во второй половине текущего столетия центр внимания исследователей к горному хрустально, являвшемуся до этого преимущественно предметом изучения минералогии, сместился в область геологии и петрологии его месторождений. В СССР этому способствовала интенсификация геологоразведочных работ, приведшая к открытию и разработке десятков новых месторождений горного хрусталя, что с одной стороны дало обильный фактический материал, а с другой – поставило проблему создания теоретической базы для оптимального планирования и управления геологоразведочным процессом. Примерно на рубеже 60-х – 70-х годов в отечественной геологии сформировалась относительно устойчивая система взглядов на минерагению хрусталеносных кварцевых жил, просуществовавшая практически без изменений до настоящего времени и частично отразившаяся в выше рассмотренных материалах. Её основные позиции в тезисной форме сводятся к следующему.

1. Месторождения горного хрусталя образуются на завершении последней активной фазы развития земной коры данного региона. Возраст известных месторождений укладывается в интервал от протерозоя до мезозоя (частично – и кайнозоя) включительно.

2. Промышленная хрусталеносность и рудная минерализация находятся в своеобразном антагонизме. Полноценное развитие одной, как правило, сопровождается отсутствием или убогой формой существования другой.

3. Вопрос источников хрусталеносных гидротермальных систем является наиболее дискуссионным. Сформировались три основных точки зрения по этой проблеме.

Согласно первой, кварц-хрусталеносная минерализация связывается с постмагматическими растворами. Противоположная точка зрения исходит из метаморфогенной природы растворов, хотя и не исключает термального влияния интрузивов. Существует также ряд мнений, занимающих промежуточную между этими двумя взглядами позицию. В частности, приводимые выше материалы позволяют говорить об автономной роли приразломных метасоматических систем, не имеющих прямой связи с магматизмом и региональным метаморфизмом.

Проблема природы гидротерм является наиболее "неустоявшейся" и динамичной в минерагении горного хрусталя. Она тесно увязана с развитием геологического мировоззрения в целом.

4. Хрусталеносные полости пространственно сопряжены с кварцевыми жилами. Выделяются два главнейших типа полостей, на основе их пространственно-временных взаимоотношений с жилами. К первому относятся полости остаточного типа или полости недовыполнения, возникшие на завершении развития кварцевых жил в ходе непрерывного гидротермального процесса. Второй тип объединяет морфологически разнообразную и наиболее продуктивную группу наложенных полостей и минерализованных трещин, расположенных как в кварцевых жилах, так и вне их, но при этом пространственно тесно связанных с последними. По времени образования наложенные полости могут быть сопряжены с кварцевыми жилами; развиваясь, так же как и остаточные, на завершающих этапах их развития. Однако чаще они принадлежат более поздней гидротермальной стадии,

накладывавшаяся на полностью сформированные и испытывавшие динамометаморфизм кварцевые жилы.

5. Для многих месторождений и целых регионов характерна локализация наложенных полостей в нижней части жильных тел (лежащий бок жил, выклинивание по падению и склонению, апофизы со стороны лежащего бока).

6. Ассоциация минералов, находящихся в парагенезисе с горным хрусталем, в общих чертах отражает минералогию и химический состав вмещающих пород, что принимается в качестве доказательства спокойных или "закрытых" условий хрусталеобразования.

7. Изменения вмещающих пород в хрусталеносную стадию обычно имеют характер низкотемпературного метасоматоза, в частности аргиллизации, и поэтому трудно отличимы от продуктов кор выветривания. Особенность этих изменений – резкое преобладание выноса компонентов над привносом с широким развитием структур выщелачивания. Ведущим является процесс выноса кремнезема. Изменения вмещающих пород, развивающиеся в предшествующую хрусталеносной кварцево-жильную стадию, как правило, значительно менее выражены.

8. Хрусталеносный процесс проходит на фоне температурной регрессии, преимущественно, в интервале 120-300°. Давление грубо оценивается в 30-70 МПа, глубина образования – 400-4000 м.

9. Кристаллизация происходит из слабокислых, нейтральных и слабощелочных растворов, чаще всего слабоминерализованных. Хотя в некоторых случаях (например, на памирских месторождениях) концентрация солей, измеренная в газовой-жидких включениях, оказалась чрезвычайно высокой.

Основными минерализаторами растворов являются хлориды *Na*, *K* и *Ca*; на втором месте стоят карбонаты и бикарбонаты, эпизодически отмечаются сульфаты.

10. Обычно на месторождениях выделяют две стадии хрусталеобразования – раннюю и позднюю. Для кристаллов ранней, более высокотемпературной стадии характерен псевдогексагональный облик, дымчатая естественная или радиационная окраска, несовершенная структура и минимальное содержание элементов-примесей. Кристаллы поздней стадии имеют тригональный облик, дымчато-цитриновую окраску, более совершенную внутреннюю структуру, но в то же время – более высокое содержание элементов-примесей.

11. Предполагается развитие гидротермального процесса в спокойных условиях закрытой или ограниченно открытой системы, функционирование которой в значительной степени обеспечивается наличием экранирующих структур. В качестве экранов могут выступать пластовые тела, дайки, контактные поверхности и сами кварцевые жилы. Размер, положение и "надежность" экранов определяют степень закрытости системы и тем самым – ее продуктивность и качество кристаллов.

В данном случае понятие "закрытая система" не имеет термодинамической нагрузки и может трактоваться как некий автономный участок гидротермального потока с застойным гидродинамическим режимом. Последний тезис является главенствующим, своего рода, стержневым в системе взглядов на петрологию хрусталеносного процесса и требует более подробного рассмотрения.

Развитию представлений о закрытом характере гидротермальной системы способствовало три обстоятельства.

Во-первых, наблюдая хрусталеносные полости и погребя, крупные и совершенные кристаллы в них, геологи интуитивно склонялись к восприятию условий минерализации как спокойных.

Во-вторых, минеральный состав хрусталеносных полостей, часто соответствующий составу вмещающих пород, говорит в пользу ограниченной миграции вещества.

В-третьих, исследования природного хрусталеобразования проходили в тесном взаимодействии с развитием синтеза искусственных кристаллов, поэтому реализованная на практике "автоклавная" модель хрусталеобразования, так или иначе, проецировались на представление о природном процессе.

В наиболее радикальной форме идея закрытой гидротермальной системы выражена в гипотезе Ю.И. Бурьяна (1974г.). Устойчивое возникновение хрусталеносных полостей в нижней части жил объясняется им следующим образом.

Поскольку верхний интервал жилы расположен от материнского интрузива несколько дальше, чем нижний, в жиле на завершающем этапе кристаллизации действует очень небольшой, но достаточный для конвекции остаточного раствора температурный градиент. Медленно циркулируя, раствор достигает насыщения в нижней части жилы и, поднимаясь, в верхней охлажденной части жилы, становится пересыщенным. Здесь и происходит кристаллизация SiO_2 . Циркулируя вниз и нагреваясь, раствор теперь уже становится недосыщенным. Таким образом, в нижней части жилы формируется область растворения и перекристаллизации, а в верхней продолжается кристаллизация жильного кварца. Кварцевая жила в данной модели почти полностью уподоблена автоклаву, является закрытой и обменивается со средой только теплом. Необходимо отметить, что предложенная схема может оказаться реальной только для части жил. Она не применима к жилам, которые достигают наступления хрусталеносной стадии испытали динамометаморфизм.

Представления о спокойных условиях функционирования хрусталеобразующих гидротермальных систем, просуществовав длительное время практически без корректировки, были поставлены под сомнение Л.В. Оганесяном (1994г.). Он обратил внимание на многочисленные факты одновременного присутствия в кристаллах, даже в пределах одной ростовой зоны, включений, гомогенизирующихся в разных фазах – газовой и жидкой. Трактую эти факты как доказательство тектонической неустойчивости, частой разгерметизации системы, вскипания растворов и, как следствие, перепадов температуры и резких колебаний уровня насыщения кремнеземом, он считает наличие именно неспокойной обстановки в гидротермальной системе необходимым условием хрусталеобразования. Согласно выдвинутой им дискретно-непрерывной модели формирования кварцевых хрусталеносных жил, только оптимальное сочетание по длительности фаз открытости и относительной закрытости системы приводит к росту качественных кристаллов. Автоклава в модели не выделяет жильную и следующую за ней хрустальную стадию развития, считая генезис горного хрусталя и жильного кварца синхронным. Образование того или другого зависит от степени пересыщения растворов кремнеземом, а этот параметр, чутко реагируя на локальные тектонические подвижки, постоянно меняется как во времени, так и в пространстве.

Предложенная гипотеза наиболее интересна в своей исходной части, где автор, возможно, справедливо ставит вопрос о реальности "спокойных" условий кристаллизации, также обращает внимание на некоторые кризисные явления, существующие в термобарогеохимическом направлении исследований: "накоплен огромный эмпирический материал, содержащий многочисленные противоречия". Однако сама модель дискретно-непрерывного развития хрусталеносной системы в значительной степени строится на интуиции автора и требует дополнительного обоснования.

Как отмечалось выше, наиболее дискуссионный вопрос минерогенеза горного хрусталя касается связи гидротермального процесса с интрузивным магматизмом и природой вещества, участвующего в процессе. Развитие взглядов в этой области идет параллельно эволюцией представлений о рудогенезе вообще. Достаточно простые трактовки этого вопроса ранними исследователями, считавшими минерализацию следствием деятельности постмагматических растворов, со временем усложнились. Появились взгляды, отражающие идею ограниченного влияния магматизма на хрусталеобразование, а также их парагенети-

ческую связь, предполагающую наличие длительно действующих глубинных магматических очагов, приведших к образованию сопряженных в пространстве, но разновозрастных хрусталеносной минерализации и верхнекоровых интрузивов. Заметную роль стали играть представления о метаморфогенной природе хрусталеносных жил. Интересная версия хрусталеобразования, отразившая современные тенденции в теории рудогенеза, предложена А.В. Козловым /1998г./. Основываясь на данных геохимии изотопов он предполагает наличие мантийного энергоисточника гидротермально-метасоматического процесса, явившегося также и источником флюида. В то же время предполагается участие в процессе верхнекоровых (метаморфогенных) вод и поверхностных вод глубокой циркуляции. Общее влияние региональных магматических, метаморфических и метасоматических процессов сводится к созданию относительно термостатированных тепловых полей, плавно регрессирующих и обеспечивающих стабильные и длительные условия, необходимые для формирования промышленных скоплений горного хрусталя.

Для образования месторождений горного хрусталя предполагается действие низкоэнергетических слабоградиентных тепломассопотоков в противоположность металлоносным гидротермальным системам, требующим более динамичных условий. Антагонизм рудной и хрустальной минерализации объясняется именно этой разобщенностью условий их образования, а также развитием хрусталеносной минерализации на завершающих этапах длительной эволюции земной коры, когда ее металлогенический потенциал уже выработан.

Предложенная А.В. Козловым гипотеза отличается типичным для современной минерации стремлением к концептуальности с расширением объема геологического пространства, причастного к хрусталегенезису, а также значительным увеличением количества участвующих в нем частных геологических процессов. Достаточно симптоматичным является использование автором методов геохимии изотопов, вместо в значительной мере исчерпавших себя термобарогеохимических данных. Интересен вывод об участии в гидротермальной системе вод верхнекорового и поверхностного происхождения. Несколько раньше к такому же заключению пришел К.И. Лохов (1985г.). Следует добавить, что химизм хрусталеобразующих растворов, установленный при изучении газовой-жидких включений, полностью отвечает гидрохимическим характеристикам нижней и средней зон разреза гидрогеологических бассейнов, приведенным В.С. Самариной /1977г./.

Завершая обзор основных аспектов хрусталегенезиса обратимся к достаточно проблематичному вопросу, касающемуся образования жильного кварца. Проблематика жильного кварца касается, в основном, месторождений, локализованных в кварцитах и кварцито-песчаниках. Широко распространено мнение, основанное на результатах термобарогеохимических исследований, согласно которому кварцевые жилы образуются в дохрустальную стадию при более высоких термодинамических параметрах, чем горный хрусталь. Формирование жил происходит по типу кристаллизации в открытых трещинах. В качестве основного аргумента в пользу именно такого способа кристаллизации приводится факт широкого распространения параллельно-шестоватых агрегатов жильного кварца. В то же время ряд авторов (П.П. Токмаков, 1957г., Е.М. Лазько 1959г., С.Д. Дмитриев, 1959г.) указывают на возможность образования жил в результате перекристаллизации существенно кварцевых пород. Этой же точки зрения придерживается А.А. Кораго /1988г./, указывая на некоторые характерные особенности жил, образовавшихся за счет перекристаллизации кварцитов.

В отношении возраста жил особую позицию занимает Л.В. Оганесян /1994г./. Ссылаясь на непосредственные взаимоотношения гидротермалитов хрустальной стадии и кварцевых жил, он считает их близковозрастными образованиями, относимыми к одной стадии. При этом игнорируются многочисленные данные термобарогеохимии, подтверждающие возникновение жил при более высоких значениях температур и давления, чем горный

хрусталь. В сущности, критическое отношение к интерпретационным схемам термобарогеохимии вполне обосновано. В первую очередь бросается в глаза их упрощенность. Из двух возможных вариантов генезиса жильного кварца выбирается один, предполагающий кристаллизацию в свободном пространстве и полностью игнорируется перекристаллизация. Последний же вариант генезиса предполагает помимо консервации действующей минералообразующей среды переконсервацию протовключений и смешение двух сред — молодой и более древней. Перекристаллизационный генезис вполне реален и для кристаллов горного хрусталя, в первую очередь, для их корневых частей. В частности, рост кристаллов вглубь кварцевой или кварцовой "подложки" — явление достаточно обычное. Не исключено, что однозначность генетических трактовок, положенных в основу интерпретационных схем термобарогеохимических данных, является одной из причин тех "многочисленных противоречий" в эмпирическом материале, на которые указывает Л.В. Оганесян.

Из рассмотренных выше материалов возможны новые подходы к процессам хрусталеобразования, основанные на переосмысливании некоторых традиционных представлений, а также на сравнительно новых аналитических данных.

Предлагаемая ниже гипотеза опирается на три из упомянутых выше особенностей минерализации. Первая — это локализация многих хрусталеносных полостей в донной части кварцевых жил. Вторая — отражает специфику хрусталеносных образований, резко выделяющую их в ряду других гидротермалитов, и заключается в особом характере околожильных изменений — интенсивном выносе компонентов, в первую очередь кремнезема. Третья касается сведений об участии в хрусталегенезисе вод поверхностного происхождения.

Многократно отмеченная на хрусталеносных месторождениях локализация наложенных полостей в донной части жильных тел создает своеобразную вертикальную зональность минерализации. Последняя отражается также в распределении метасоматитов хрусталеносной стадии — их интенсивность часто возрастает в поджильной области, с формированием зональности, именуемой далее зональностью нисходящего типа.

На месторождениях, залегающих в кварцитах, жильные тела обычно создают сложные системы, вплоть до штокверков. Нисходящая зональность выражается здесь обычно в более сложной форме. Так на месторождении Желанное (Приполярный Урал) в донной части мощных сложно построенных, многополостных тел жильного кварца резко увеличивается объем полостей, усиливается перекристаллизация и выщелачивание кварца и кварцитов; "на дне" крупных полостей появляются специфические образования — серицитолиты. На месторождении Холодное (Ю.Якутия), представляющем собой сложную жильную систему, лежащую на пологом экране, хрусталеносные полости не обнаруживают связи с донными частями конкретных жил, однако они ясно тяготеют к донной части месторождения в целом. Ниже полостей залегает зона, представленная телами "зеленых глин", которые по структурной позиции и вещественному составу близки серицитолитам Желанного. На месторождении Килерчи (Ю.Якутия) ореолы измененных кварцитов имеют форму крутопадающих трубообразных тел. В донной части одного из таких тел, которое упирается своим основанием в экран, представленный пластом гнейсов и небольшим гранитным телом, появляются крупные хрусталеносные полости в ассоциации с небольшим количеством жильного кварца. На Малонихотском месторождении (Ю.Якутия) "подушка" перекристаллизованных и интенсивно выщелоченных кварцитов залегает под жильным штокверком непосредственно над экраном, представленным пологим пластовым телом гранитов. В лежащем борту штокверка отмечается концентрация полостей, но в той же мере она характерна для флангов штокверка и его висячего бока.

В целом, в отличие от рассредоточенных кварцевых жил, нисходящая зональность в сложных жильных системах выражена в первую очередь "донной" позицией максимума

изменений вмещающих пород. "Донная" позиция полостей является для них признаком менее устойчивым.

На ряде месторождений устанавливается зональность противоположного свойства (зональность восходящего типа). Она выражена смещением поздних метасоматитов и хрусталеносных полостей в верхнюю часть разреза месторождений или отдельных жильных тел. Примером зональности восходящего типа является Астафьевское месторождение, залегающее под пологим экраном, представленным поверхностью раздела структурных ярусов. Продуктивная часть месторождения и поздние метасоматиты смещены в верхние горизонты под экранирующую поверхность. Преимущественная локализация полостей в висячих боках кварцевых жил не является отчетливо выраженной, но тем не менее, устанавливается на уровне статистической закономерности.

Для Улутауского хрусталеносного района также характерно наличие верхнего экрана, представленного региональной поверхностью раздела структурных этажей, ограничивающей развитие минерализации вверх по разрезу. На основных месторождениях района проявлена зональность восходящего типа. В частности, на Актаском месторождении хрусталеносные полости и поздние метасоматиты тяготеют к куполовидным осложнениям верхних контактов пологопадающих жил. На месторождении Надырбай, представленном крупной пологой жилой, вертикальная зональность в размещении полостей отсутствует, однако метасоматиты хрустальной стадии усиливаются над верхним контактом жилы.

В отношении сравнительно слабо изученной Верхоянской провинции данных о специфике размещения ореолов изменения нет, но также устанавливается тяготение наложенных полостей к висячим зальбандам жил.

Хрусталеносные регионы, в основном, однородны в отношении зональности того или иного типа. Нисходящий тип свойственен Приполярному Уралу и Южной Якутии. Восходящая зональность характерна для Улутауского района и Верхоянья. Особое место занимает Южный Урал. Здесь присутствуют оба типа зональности: восходящий – на Астафьевском месторождении, нисходящий – на Светлинском жильном поле и месторождении Джаман-Акжар. Два типа зональности отмечаются также на месторождениях Памира.

Месторождения Кавказа индифферентны в отношении обоих типов зональности. Очевидно, это объясняется развитием на них преимущественно полостей остаточного типа и отсутствием или слабым проявлением наложенной хрусталеновой стадии.

Таким образом, по направлению смещения в разрезе максимума проявления наложенной хрусталеновой стадии месторождения можно разделить на два типа. При этом крупные минерогенические таксоны, в основном однородны в отношении того или иного типа зональности. Исключение составляет только Южно-Уральская провинция и Памир.

Сравнение показывает, что однополостной характер кварцевых жил более свойствен месторождениям нисходящего типа. По крайней мере, эта закономерность проявляется, если сравнивать простые тела, а не сложные жильные системы. Можно указать также на более ясно выраженную тенденцию полостей локализоваться в донных частях жил с нисходящей зональностью по сравнению с жилами противоположного типа, где тенденция полостей концентрироваться в висячих бортах не столь очевидна и проявляется в качестве статистической закономерности.

Характерно, что при наличии экранирующих поверхностей, последние для месторождений нисходящего типа оказываются подстилающими, а на месторождениях с восходящим типом зональности – перекрывающими. В сущности, это можно рассматривать в качестве признаков функционирования нисходящих и восходящих гидротермальных потоков. Понятно, что наличие нисходящих гидротерм (гравитационных вод по гидрогеологической систематике) – вопрос крайне проблематичный. В традиционных представлениях такое направление тока не отвергается, однако воспринимается лишь в

качестве исключения из правила, как своего рода локальные нарушения общей закономерности – движения всех подвижных фаз вверх по разрезу. Если же учитывать, что зональность нисходящего типа охватывает целые хрусталеносные провинции и субпровинции, следует признать действие региональных гидротермальных систем с нисходящим током растворов. Как указывалось выше, реальность таких систем подтверждается результатами изучения вещества минералообразующей среды. К тому же, позиции признания участия в гидротермах гравитационных вод можно найти объяснение целому ряду явлений, сопровождающих хрусталеносную минерализацию.

Обратимся вновь к хрусталеносным полостям, залегающим в донной части кварцевых жил. Распространено мнение, согласно которому поздние растворы, циркулируя вверх вдоль разломов, подпруживались кварцевыми жилами, в силу чего активно воздействовали на их донную часть. Оно основано на предположении об относительно слабой проницаемости кварцевых жил. В то же время существуют сведения, позволяющие утверждать обратное. На примере порообразующих минералов Коростенского плутона установлено, что термическое расширение-сжатие кварца в диапазоне температур $100-500^{\circ}$ в 2-4 раза выше, чем у плагиоклазов, микроклина, амфибола и пироксена.

Как следствие, при температурной регрессии в кварцевых жилах произойдет значительная термоусадка и соответственно их скважность превысит скважность вмещающих пород. На более высокую проницаемость кварцсодержащих пород указывает также А.Ф. Кунц (1999г.). Таким образом, для поступающих растворов кварцевые жилы, скорее всего являются коллекторами, а не экранами.

Рассмотрим модель, в которой порода А, слагающая изолированное тело, обладает более высокой проницаемостью, чем вмещающая порода Б (рис. 62.). При поступлении

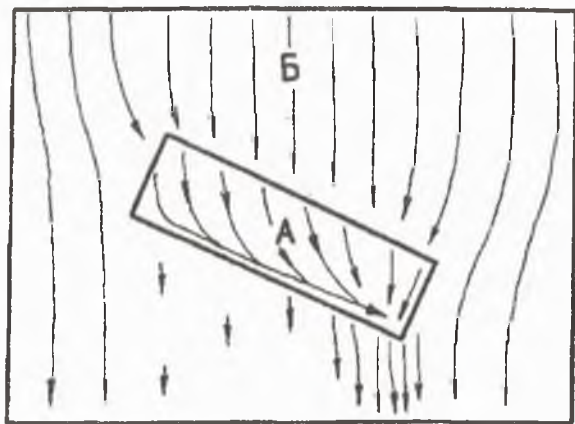


Рис. 62. Структура гравитационных вод при прохождении относительно проницаемого тела

растворов сверху нижняя поверхность тела А будет оказывать экранирующее действие на поток. В результате произойдет его концентрация в лежащем борту тела, которая достигает максимума в нижней точке последнего. Для тел равного размера эффект концентрации гравитационного потока будет тем сильнее, чем полнее залегание тела. В вертикальных телах он будет равен нулю. Если представить тело А в качестве кварцевой жилы, становится понятным почему "излюбленными" местами для наложенных полостей становятся лежащие борта жильных тел и вообще их нижние интервалы: выклинивание по падению и склонению, а также апофизы со стороны лежащего бока.

Находят объяснение и другие закономерности. Простая форма жильных тел способствует развитию одной полости, напротив – более сложная морфология жил должна привести к расчленению единой системы тока вдоль нижнего контакта и образованию нескольких полостей, что и наблюдается в действительности.

На ряде месторождений Приполярного Урала наложенные полости предпочитают пологозалегающие жилы и крайне ограниченно развиты в крутопадающих. Это объясняется тем, что последние своей верхней торцевой поверхностью перехватывают относительно "узкий" поток гравитационных вод, к тому же, из-за крутого залегания в них слабо работает механизм экранирования нижней контактной поверхностью. При наличии в крутопадающих жилах полостей они, как правило, локализируются на пересечении разноориентированных

систем трещин и, в целом, на участках сгущения трещиноватости. Таким образом, если считать концентрацию гидротермального потока вдоль экранирующей поверхности основным фактором локализации полостей, то в качестве дополнительного и конкурентного можно признать наложенные на кварцевые жилы зоны трещиноватости. Они способны корректировать поступление растворов и их распределение внутри жильных тел, тем самым искажая или сводя на нет действие основного фактора. Этим можно объяснить тот факт, что при доминирующей роли "донных полостей" на месторождениях с нисходящей зональностью всегда имеется какое-то количество полостей, не подчиняющихся общей закономерности локализации.

Вернемся к рассматриваемой модели, а точнее — ее противоположному варианту: поступление вод напорного типа снизу и прохождение ими тела *A*, обладающего более высокой проницаемостью по сравнению с вмещающей породой. В этом случае роль экрана играет верхняя контактная поверхность тела, и структура гидродинамического потока будет противоположна описанной выше, т.е. максимальной плотности поток достигнет в верхней точке тела *A* и вдоль его висячего борта. Эти же участки кварцевых жил на месторождениях с восходящим типом зональности характеризуются максимумом наложенной минерализации. Однако, на этих же месторождениях достаточно часто появляются многополостные жилы. При этом полости используют трещиноватые зоны в кварце, т.е. фактор трещиноватости для локализации полостей здесь более значим, чем на месторождениях нисходящего типа. Эта закономерность не находит объяснения. Можно предположить, что здесь играет роль гидродинамический тип гидротермальных потоков: на месторождениях с нисходящей зональностью это гравитационные воды, а на месторождениях с восходящей зональностью — напорные.

Кварциты, являясь существенно кварцевыми породами, должны подобно кварцевым породам обладать повышенной проницаемостью. Действительно, эти породы часто отличаются повышенной трещиноватостью. В частности, трещиноватость кварцитов на Ожно-Якутских месторождениях на порядок превышает трещиноватость других пород. Основываясь на предположении об относительно высокой проницаемости существенно кварцевых пород, можно рассмотреть под несколько иным углом зрения некоторые известные факты.

В частности, на Приполярном Урале В.А.Смирновой (1962г.) отмечена интересная особенность размещения хрусталеносных жил в кварцитах, залегающих среди кристаллических сланцев и мегабазитов.

Характерна следующая схема (рис. 63). Кварциты отделены от кристаллосланцев и базитов зонами рассланцевания, осложненными трещинами оперения, проникающими только в кварциты. Жилы залегают в трещинах оперения, но только в лежащих бортах кварцитов. Висячие борта кварцитов непродуктивны, хотя в них в той же мере развиты зоны рассланцевания. Кварцевые жилы

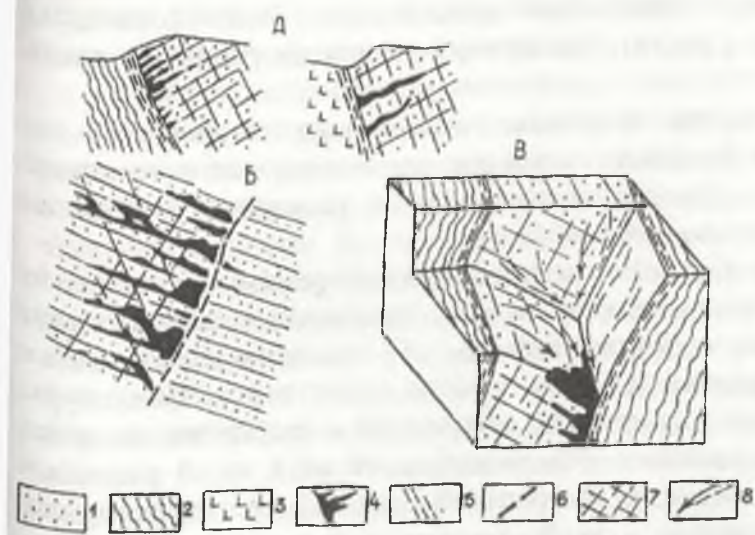


Рис. 63. Перистые жилные зоны в лежащих бортах кварцитовых тел

Жилные зоны Приполярного Урала (а), Памира (б); гипотетическая схема концентрации гидротермального потока в лежащем борту кварцитов (в).
1 — кварциты. 2 — сланцы. 3 — диабазы. 4 — кварцевые жилы. 5 — рассланцевание. 6 — разломы. 7 — трещиноватость. 8 — линии гидротермального тока.

используют только те трещины, которые имеют встречное по отношению к зоне рассланцевания падение.

На Приполярном Урале большинство жильных зон в кварцитах локализуется именно по этой схеме.

Перистые жильные зоны, принципиально сходные с приполярноуральскими, выделяет на месторождениях Памира А.И.Захарченко (1955г.). Здесь жилы также залегают в лежащих бортах кварцито-песчаниковых блоков, разделенных разломами, и используют слоистость и трещиноватость кварцито-песчаников, имеющих встречное по отношению к разломам падение. В висячих бортах кварцито-песчаников под разломами минерализация развита только в редуцированных формах.

В.А.Смирнова объясняет наблюдаемые закономерности предпочтительным развитием трещин оперения в лежащих бортах жестких пород, при определенной специфике тектонических движений.

В авторской трактовке эти же закономерности объясняются следующим образом:

- Кварциты, как и кварцевые жилы, являются трещинными коллекторами и обладают повышенной проницаемостью для растворов.

- При поступлении растворов сверху, в кварцитовом блоке, ограниченном разломами или зонами рассланцевания, организуется дренажная система с накоплением растворов и их стоком вдоль лежащего борта кварцитов (рис. 63). При этом реализуется первая ступень концентрации гидропотока вдоль экранирующей плоскости.

- Учитывая стремление любой естественной дренажной системы к концентрации гидропотока (при этом происходит минимизация энергозатрат на преодоление сопротивления среды), следующей ступенью её развития (во времени или по мере продвижения потока вниз на более глубокие горизонты) будет трансформация плоского потока в линейный. Оптимальным вариантом для реализации данной тенденции будет образование лотков стока, образуемых сочленением трещин отдельности или напластования кварцитов с разломом или зоной рассланцевания. Дальнейший ток растворов будет осуществляться по склону лотков с постепенным увеличением массы гидропотока.

- Переработка кварцита в жильный кварц и развитие всей гаммы процессов, обеспечивающих хрусталеобразование, становятся возможными при достижении определенной величины тока гидротерм и реализуется на участках концентрации последних, в основном, вдоль лотков стока.

Достижение некоторой критической величины массопотока гидротермальных растворов, по-видимому, является необходимым условием протекания всего комплекса процессов хрустале-кварцеобразования. Для подтверждения этого положения необходимо обратиться к физико-химической стороне данной проблемы.

Хрусталеносные кварцевые жилы обладают важным свойством, резко выделяющим их в ряду других гидротермалитов. Развивающаяся в них хрустальная минерализация сопровождается значительным выносом вещества, главным образом кремнезема, причем выносу подвержено как вещество кварцевых жил, так и вмещающих пород. Наибольших масштабов этот процесс достигает на месторождениях, залегающих в кварцитах, где вынос кремнезема из вмещающих пород составляет сотни килограммов на 1 м^3 . В результате возникают значительные объемы выщелоченных, кавернозных пород, а в некоторых случаях, при полном выщелачивании – протяженные трубообразные полости, не содержащие минерализации или, как на месторождении Холодное, заполненные глинистым материалом. Как указывалось выше, на месторождении Перекатном, где полости выщелачивания получили максимальное развитие, их протяженность составляет многие десятки метров. Это явление по своим масштабам сопоставимо с карстом и входит в противоречие с широко распространенным мнением о развитии хрустальной минерализации в условиях застойного гидротермального режима. Действительно, чтобы обеспечить такие масштабы выноса

кремнезема, необходим проток через месторождение слишком большого количества растворов, не позволяющего говорить о закрытых условиях минерализации. Предположение о действии диффузионного механизма массопереноса не согласуется с фактом существования крупных линейных форм растворения, ярко подчеркивающих динамичность процесса.

В сложном явлении, которое представляют из себя хрусталеобразующие гидротермальные системы, геологи, чисто с субъективной точки зрения, выделили хрусталеобразование в качестве генерального процесса, не обращая внимания на то, что основная работа системы выражена в растворении и выносе кремнезема. Если взглянуть на явление с этой точки зрения, то будет обоснованным сравнение хрусталеносных гидротермальных систем с карстовыми процессами и построение генетических трактовок хрусталеобразования на базе этого сравнения.

Здесь необходимо оговорить, что аналогия в данном случае ограничена, хотя бы потому, что, в отличие от хрусталеносных систем, в карстах процесс выноса вещества приобрел свое максимальное развитие, а минералообразование сведено к относительному минимуму.

Важным является то обстоятельство, что при карстообразовании на первое место выходит фактор динамики грунтовых вод, в то время как их химизм играет второстепенную роль. Действительно, слабо проточные и застойные воды, быстро приходя в химическое равновесие с карстующимися породами, прекращают свое агрессивное воздействие на них. Поэтому для реализации интенсивного растворения и выноса вещества требуется значительный массопоток грунтовых вод, который обеспечивается их концентрацией за счет собирательной способности трещинных коллекторов.

Именно фактор концентрации рассеянного потока растворов можно спроецировать на хрусталеобразующие системы, придав ему ведущее значение.

Однако, аналогия карстового и гидротермального хрусталеносного процесса ограничивается еще и тем, что в первом случае процесс становится возможным из-за высокой растворимости карстующихся пород, в то время как, кварц обладает значительно более низкой растворимостью. Это позволяет задать вопрос: почему именно в кварцевых породах развиваются карстоподобные процессы и почему они не известны, например, в существенно полевошпатовых породах?

Ответ на вопрос может заключаться в следующем.

Любой минерал или мономинеральный агрегат, взаимодействуя с агрессивным раствором, может измениться тремя способами: первый — метасоматически заместиться, второй — раствориться, третий — перекристаллизироваться. Полевой шпат с легкостью замещается другим более устойчивым алюмосиликатом или их комплексом, так как не требует для своего изменения большого количества дополнительного вещества. Кварц же для замещения алюмосиликатом потребует значительного привноса дополнительного вещества (глинозема и элементов катионной группы). В отношении элементов катионной группы (Na , K , Ca) проблемы не возникает, поскольку они являются постоянными компонентами хрусталеобразующих растворов. Алюминий же в условиях верхней коры обладает очень низкой миграционной способностью. Для ее повышения требуется высокая кислотность среды ($ph < 4$), маловероятная в хрусталеобразующих системах, или специфическая геохимическая среда, способствующая образованию растворимых комплексных соединений алюминия. Очевидно, что низкая концентрация алюминия в растворах будет ограничивать метасоматическое замещение кварца и смещать процесс в сторону растворения и перекристаллизации.

Таким образом, интенсивное растворение и карстование существенно кварцевых пород становится возможным в силу специфики состава кварца (его однокомпонентности) с одной стороны и слабой миграционной способности алюминия в условиях верхней коры.

На некоторых месторождениях горного хрусталя вынос глинозема из вмещающих пород, все-таки, фиксируется. Однако, здесь речь, скорее всего, идет о миграции в нерастворенной форме по схеме: замещение первичного алюмосиликата тонкодисперсным агрегатом – вымывание тонкодисперсного вещества и транспортировка в форме взвеси. Признаки именно такого процесса наблюдаются на южно-якутских месторождениях, где вымыванию подвергается тонкодисперсный каолинит, замещающий полевои шпат.

В качестве примера наиболее полной аналогии хрусталеносных гидротермальных систем с карстом можно привести месторождение Холодное (рис. 20.). В его основании полого залегает экранирующий комплекс пород, представленный пластовыми телами мигматитов, кварцито-гнейсов и гранитов, переслаивающихся с кварцитами. Залегающее выше в существенно кварцитовой толще месторождение содержит три согласных экрану зоны. Нижняя зона представлена почти исключительно телами зеленых глин (полости растворения, заполненные глиной). Средняя характеризуется максимумом развития как хрусталеносных полостей, так и кварцевых жил, и подчиненным количеством зеленых глин. В верхней зоне, на фоне снижения общего объема гидротермалитов, преобладающее развитие приобретает жильный кварц, подчиненное – хрусталеносные полости (за счет уменьшения их размеров), тела зеленых глин практически исчезают.

Вертикальная зональность месторождения отражает снижение активности растворов, вследствие сокращения их массопотока по мере удаления от экрана.

Если исходить из перекристаллизационного генезиса жильного кварца, то физико-химический смысл данной зональности выражается смещением активности в системе растворение – кристаллизация – перекристаллизация вправо по мере убывания гидродинамической активности растворов. Генезис хрусталеносных полостей предполагает участие трех перечисленных процессов примерно в равной мере, т.е. благоприятными для хрусталеобразования являются некие срединные условия гидродинамической активности.

В общем случае эволюция гидродинамической системы предполагает миграцию зон, сопровождающуюся их телескопированием. Благоприятным в отношении продуктивности месторождения будет регрессивный гидродинамический режим. На месторождениях нисходящего типа развития он будет сопровождаться наращиванием продуктивной зоны вниз за счет освоения зоны растворения. Прогрессивный режим приведет к наращиванию продуктивной зоны вверх и в то же время деградации ее нижних горизонтов за счет замещения зоной растворения. Результатом пульсирующей гидродинамики будет периодическое замедление или прекращение роста кристаллов в верхнем борту продуктивного слоя и такое же периодическое прекращение роста и растворение в нижнем.

Предложенная схема является идеализированной. Ее надо понимать, как упрощенную модель, акцентирующую внимание на первостепенное значение гидродинамического фактора, в противовес устоявшимся представлениям о закрытых, застойных условиях в хрусталеобразующих системах. Естественно, на реальных месторождениях наряду с главенствующим, действовали, усложняя процесс, и другие факторы физико-химического плана. В той же мере на гидродинамическую зональность месторождения оказывал влияние не только генеральный экран, но и локальные экраны (в кварцитовых толщах в качестве них часто выступают сами кварцевые жилы), а также трещинные коллекторы. В частности, на месторождении Холодное влияние трещинных коллекторов привело к формированию "рудных" столбов, наложенных на основную зональность.

С позиции влияния гидродинамических условий на заложение и миграцию границ продуктивной зоны и создания в ее бортах неустойчивых условий хрусталеобразования интересно будет переоценить фактический материал, касающийся качества кристаллосырья. Не исключено, что оно в определенной мере контролируется гидродинамикой процесса и имеет соответствующее зональное распределение.

Предполагается, что основное применение гипотезы "гидродинамических потоков" возможно в сфере прогноза и поиска хрусталеносной минерализации. Наиболее благоприятными для поисков "слепых" месторождений являются районы с нисходящим типом развития минерализации под действием гравитационных вод. В отличие от восходящих напорных потоков миграция гравитационных вод более предсказуема и дает больше возможностей для трассирования гидротермального "следа".

Наибольший интерес может представлять хрусталеносная минерализация кварцитов, в первую очередь изолированных кварцитовых тел. Имеющиеся данные говорят о принципиальном сходстве миграции гидротермальных растворов в них и в обособленных кварцево-жильных телах. В обоих случаях происходит "уплотнение" гидротермального потока и интенсификация наложенных процессов в лежащих бортах тел. Продолжая аналогию с кварцевыми жилами, можно ожидать наличие и даже усиление хрусталеносной минерализации в донных частях кварцитовых тел, т.е. на их выклинивании по падению и склонению.

Изложенные выше представления о процессах формирования хрусталеносных кварцевых жил отражают как существующие, ранее сформировавшиеся взгляды на эту проблему, так и собственную позицию в этом вопросе автора настоящего раздела. В некоторых моментах излагаемые положения не всегда разделяются геологами-кварцевиками, в том числе одним из авторов настоящей работы. В частности, достаточно дискуссионен вопрос о существовании чисто "гидродинамических" хрусталеобразующих систем, так как условия нисходящего потока реализуются в структурах распределения любого, в том числе "традиционного" (напорного) гидротермального типа. Тем не менее мы считаем, что в постановочном варианте рассмотренные подходы заслуживают внимания и могут быть интересны для геологов различной специализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной на рассмотрение заинтересованного читателя работе обобщен материал по основным месторождениям горного хрусталя России и стран СНГ, включая объекты 12 хрусталеносных провинций и обособленных районов. Материалы по месторождениям представлены в виде сводных описаний и рисунков, отражающих их геологическую позицию, геологическое строение, особенности хрусталеносности. Всего охарактеризовано 26 месторождений горного хрусталя, относящихся к 6 генетическим типам, включая камерные пегматиты, грейзены, высокотемпературные кварцево-рудные жилы, скарны, хрусталеносные кварцевые жилы и россыпи. Иллюстративный материал представлен картами районов (узлов), полей и месторождений, детализирующими разрезами и диаграммами.

Изложенный материал получен на основе обобщения результатов всех основных работ, выполненных на хрусталеносных объектах в процессе их разведки и эксплуатации, с учетом непосредственных разработок авторов (по 10 объектам). В дополнение к данным по конкретным месторождениям приведены систематизированные и дополненные авторами сводки по формационной классификации и районированию хрусталеносных объектов, обобщения по закономерностям их размещения и условиям локализации. Основной акцент сделан на обобщенные характеристики промышленно-хрусталеносных районов и крупных-уникальных месторождений горного хрусталя.

В целом выполненная работа является достаточно оригинальным трудом, охватывающим и фактические материалы по основным месторождениям горного хрусталя, и выводы по условиям их размещения. Ранее подобные работы выполнялись в основном на материалах обособленных провинций, что сужало значимость получаемых практических и теоретических выводов. Обобщающие работы (Я.Н.Соколов, А.И.Захарченко, А.В.Осинский, 1975г.; Ю.Н.Ануфриев, 1979г.) касались главным образом региональных – глобальных характеристик хрусталеносной минерализации, не давая сравнительных материалов по конкретным месторождениям. К тому же за более чем 20-летний период, прошедший после выхода этих работ, многие взгляды на геологию даже наиболее известных месторождений (типа Астафьевского) претерпели серьезную переинтерпретацию.

В итоге обобщенный в монографии материал даёт достаточно законченную информацию как по конкретным месторождениям, так и по хрусталеносным регионам в целом, позволяя объективно оценить состояние и, при необходимости, определить направление дальнейшего совершенствования МСБ пьезооптического сырья. Приводимые данные по условиям локализации полезного ископаемого, распределению сырья, зональности месторождений дают в принципе достаточную основу для переоценки запасов и прогнозных ресурсов, для анализа методических приемов их оценки и т.д. И конкретные материалы по типовым месторождениям, и обобщенные выводы могут также экстраполироваться на другие виды генетически близких полезных ископаемых.

Исходя из реального состояния базы пьезооптического сырья, востребованность которой в настоящее время минимизирована (практически до нулевого уровня), дальнейшее освоение хрусталеносных объектов в ближайшие годы будет, скорее всего, полностью приостановлено. Соответственно трудно предполагать появление даже локальных работ по хрусталеносным месторождениям, тем более – сводных трудов. В этой связи выполненная работа сохранит, видимо надолго своё значение как систематизированное обобщение данных по целой группе уникальных природных объектов – месторождениям горного хрусталя. В этом, по мнению авторов, основная научно-практическая ценность монографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев Ю.Н. Закономерности размещения месторождений горного хрусталя в земной коре. ВНИИСИМС, 1985 – Депонировано в ВИЭМСе, 04.04.85, №186 МГ-85.
2. Ануфриев Ю.Н., Шатнов Ю.А. О локальных хрусталеносных структурах одного из месторождений Южного Урала. Тр СГИ, Св., Геология метаморфических комплексов Урала, 1982.
3. Балицкий В.С. Экспериментальное изучение процессов хрусталеобразования. М. "Недра", 1978.
4. Быдтаева Н.Г., Быдтаева Т.Г., Дороговин Б.А. Минералого-геохимические особенности предрудных метасоматитов хрусталеносных месторождений Алданского щита. М., Недра, Оценка перспектив рудоносности геологических формаций, 1988.
5. Геологические и минералогические критерии крупных и уникальных месторождений. Тезисы докладов Минералогического общества при РАН. С.-П., 1994.
6. Геология золоторудных месторождений. Том 5. Формации, закономерности размещения, перспективная оценка. М., ЦНИГРИ, 1990.
7. Григорьев Д.П. Генезис кварца в жилах альпийского типа на территории СССР. Труды ВНИИП. Том IV вып. 1. 1960.
8. Гудков А.С., Киевленко Е.Я., Кондрашов С.Н. Основы поисков и разведки месторождений пьезооптических минералов. М., Геолтехиздат, 1963.
9. Давыдченко А.Г. Миграция вещества в зонах метаморфизма. М., Недра, 1983.
10. Дроздов В.П., Евстропов А.А., Шатнов Ю.А. Прогноз, поиски и разведка месторождений кварцевого сырья. М., Недра, 1985.
11. Евстропов А.А., Бурьян Ю.И., Кухарь Н.С., Серых Н.М., Цюцкий С.С. Жильный кварц Урала в науке и технике. Геология основных месторождений кварцевого сырья. М., Недра, 1995.
12. Захарченко А.И. Минералообразующие растворы и генезис кварцевых жил. М., Госгеолтехиздат, 1955.
13. Казанский В.И. Рудоносные тектонические структуры активизированных областей. М., Недра, 1972.
14. Козлов А.В.- Геодинамическая обстановка и эндогенные режимы проявления хрусталеносной минерализации. Тезисы докладов IX съезда МО при РАН, С.-П., 1999, с.74-75.
15. Кораго А.А., Козлов А.В. Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. Ленинград, Недра, 1988.
16. Кузнецов С.К. Жильный кварц Приполярного Урала. С.-П., Наука, 1998.
17. Кухарь Н.С., Шатнов Ю.А. Морфологические особенности хрусталеносных месторождений как возможный критерий прогнозной оценки. М., Э.-И ОЦНТИ ВИЭМС, 1982, №1.
18. Лазько Е.М. Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис. Из-во Львовского университета. 1957.
19. Мельников Е.П. Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. М., Недра, 1988.
20. Минералогия метаморфогенных месторождений горного хрусталя и жильного кварца. Соколов Ю.М., Мельников Е.П. и др. Л., Наука, 1977.
21. Оганесян Л.В. Минерогенические и методические основы многоуровневого прогноза гидротермальных хрусталеносных объектов. М., Недра, 1994.
22. Осинский А.В., Соколов Я.Н., Лебедев В.В. Формационно-генетические типы безрудной кварцевожильной минерализации и основные принципы её мелкомасштабного прогнозирования. Тр. ВСЕГЕИ. Нов. серия, 1981. т.292.

23. Осинский А.В., Лебедев В.В. Онтогенетические методы оценки природного кварцевого сырья (пьезооптического и жильного кварца) при геологической съёмке масштаба 1:50 000. С-П., 1992.
24. Рудные и рудоносные формации (Терминологический справочник). М., Недра, 1983.
25. Самарина В.С. Гидрогеохимия. Ленинград, 1977.
26. Смирнова В.А. Закономерности размещения кварцевых жил и хрусталеносных гнезд в кварцитах Приполярного Урала. Труды ВНИИП. Том VII, 1962.
27. Тектоника, геодинамика и процессы магматизма – метаморфизма. Материалы XXXII Тектонического совещания, том I, II; М., ГЕОС, 1999.
28. Формационный анализ и его роль в выявлении закономерностей размещения МПИ. Изд. ВСЕГЕИ, Л., 1972. (Тр. ВСЕГЕИ, т. 176).
29. Шатнов Ю.А. Структурные критерии размещения хрусталеносных жильных полей Ц.Казахстана. Тр. КАЗИМС, А-Ата, 1975, №2.
30. Шатнов Ю.А. Типы хрусталеносных "узлов" в кварцевых жилах Казахстана. М., Разведка и охрана недр, 1984, №5.
31. Шатнов Ю.А. Геолого-структурные условия локализации крупных и уникальных месторождений горного хрусталя. Разведка и охрана недр, №3, 1995, стр. 2-6.
32. Шатнов Ю.А., Загорюев А.Л. Опыт количественной оценки хрусталеносной минерализации на основе морфологического анализа рудолокализирующих структур. М., Разведка и охрана недр, 1983, №5.
33. Шатнов Ю.А., Аеров Г.Д., Хохлачев А.П. Некоторые вопросы минерации горного хрусталя. Тезисы докладов к совещанию. М., ВИЭМС, 1985, стр. 7-8.
34. Шатнов Ю.А., Коваленко И.В., Осипов В.В. Хрусталесодержащие кварцевожильные формации Д.Востока и их практическая оценка. Обзор ВИЭМС, М., 1990
35. Шатнов Ю.А., Зюзин А.Я. Пьезооптическое сырьё (справочник). ЗАО "Геоинформмарк", М., 1998.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНОМ ХРУСТАЛЕ КАК ПОЛЕЗНОМ ИСКОПАЕМОМ.....	5
1.1 Основные свойства кристаллов кварца.....	5
1.2 Области применения горного хрусталя.....	7
1.3 Природные и технологические типы горного хрусталя.....	9
2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	11
2.1 Формационная классификация хрусталеносных месторождений.....	11
2.2 Районирование хрусталеносных территорий.....	14
3. ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕГМАТИТОВОГО КЛАССА.....	21
3.1 Волынское месторождение.....	21
3.2 Месторождение Кент.....	33
4. ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПНЕВМАТОЛИТ-ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО КЛАССА.....	41
4.1 Месторождение Дальнее (апоскарновый тип).....	41
4.2 Месторождение Калмык-Кырган (грейзеновый тип).....	48
4.3 Олгинское месторождение (RM-кварцевые жилы).....	56
5. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ АКТИВИЗИРОВАННОГО ДРЕВНЕГО ШИТА (ЮЖНО-ЯКУТСКАЯ ПРОВИНЦИЯ).....	63
5.1 Общая характеристика провинции.....	63
5.2 Месторождение Перекатное.....	71
5.3 Месторождение Килерчи.....	79
5.4 Месторождение Холодное.....	83
5.5 Месторождение Малый Нихот.....	89
6. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ АКТИВИЗИРОВАННОГО СРЕДИННОГО МАССИВА (УЛУТАУСКИЙ РАЙОН).....	98
6.1 Геологическое строение района.....	98
6.2 Особенности хрусталеносности района.....	101
6.3 Геолого-структурная позиция хрусталеносных объектов.....	103
6.4 Месторождение Актас.....	105
6.5 Месторождение Ащилысай.....	110
6.6 Месторождение Надырбай.....	115
6.7 Месторождение Котр.....	121
7. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ ПАЛЕОЗОЙСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ.....	127
7.1 Южно-Уральская субпровинция.....	127
7.1.1 Астафьевское месторождение.....	129
7.1.2 Месторождение Джаман-Акжар.....	147
7.2 Приполярно-Уральская субпровинция.....	154
7.2.1 Особенности хрусталеносности Ляпинского района.....	157
7.2.2 Месторождение Пелингичей-III.....	161
7.2.3 Месторождение Додо.....	167
7.2.4 Месторождение Желанное.....	179
8. ХРУСТАЛЕНОСНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ МОЛОДЫХ (MZ-KZ) СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ.....	185

8.1 Памирская хрусталеносная провинция.....	185
8.1.1 Геологические условия локализации хрусталеносных объектов..	185
8.1.2 Месторождение Дальнее.....	187
8.1.3 Месторождение Миона-Дара.....	191
8.1.4 Месторождение Лянгар.....	195
8.2 Верхоянская хрусталеносная провинция.....	197
8.2.1 Общая характеристика провинции.....	198
8.2.2 Месторождение Касалин.....	203
8.2.3 Месторождение Сакындя.....	206
8.3 Кавказская провинция.....	208
8.3.1 Месторождение Собрале.....	208
8.3.2 Месторождение Айшат-Кули.....	213
9. РОССЫПНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ СВЕТОЕ, ЮЖНЫЙ УРАЛ).....	216
10. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ.....	222
10.1 Закономерности размещения объектов хрусталеносной кварцево- жильной формации.....	222
10.2 Геолого-структурные условия локализации крупных и уникальных месторождений горного хрусталя.....	229
10.3 Генетические аспекты процессов хрусталеобразования.....	234
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	246
ЛИТЕРАТУРА.....	247
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	249

