

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ,
ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ**



МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СИНТЕЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
(ВНИИСИМС)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ,
ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

Под редакцией *Л. Н. Хетчикова* и *Л. В. Оганесяна*



МОСКВА
«НЕДРА» 1975

Прогнозирование, поиски и разведка месторождений горного хрусталя. Под ред. Л. Н. Хетчикова и Л. В. Оганесяна. М., «Недра», 1975, с. 103.

В монографии рассматриваются современные научно обоснованные количественные методы оценки хрусталеносных провинций, жильных полей и месторождений горного хрусталя. Большое внимание уделено применению разнообразных математических методов определения перспективности в различной степени изученных хрусталеносных объектов. Освещенные вопросы иллюстрируются на примерах отечественных и зарубежных провинций. Материалом для книги послужили результаты научно-исследовательских работ, выполненных во ВНИИСИМС в последние годы.

Книга рассчитана на геологов-поисковиков.

Табл. 24, ил. 22, список лит. — 98 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы методики поисков и разведки месторождений горного хрусталя рассмотрены в многочисленных статьях и ряде обобщающих монографий. Наиболее полной является работа А. С. Гудкова, Е. Я. Киевленко и С. Н. Кондрашева «Основы поисков и разведки месторождений пьезооптических минералов», вышедшая в 1963 г. и до сих пор являющаяся настольной книгой геологов, занимающихся кварцем.

Вместе с тем с тех пор на основе новых фактических данных углубились и уточнились некоторые представления об условиях формирования и закономерностях размещения месторождений горного хрусталя. Прошедший период характеризуется активным внедрением в геологическую науку и практику точных методов анализа геологической информации, основанных на применении математической статистики и теории вероятности. Использование таких математически строго обоснованных методов затронуло также область изучения месторождений горного хрусталя. В результате многие вопросы прогнозирования, поисков и разведки этих месторождений получили более конкретное обоснование. В частности, оказалось возможным на основе количественных показателей сравнить различные хрусталеносные провинции, жильные поля и месторождения, выявить сопровождающие хрусталеносные кварцевые жилы геохимические ореолы и определить пути усовершенствования методики разведки и подсчета запасов горного хрусталя. Однако перечисленные и многие другие разработки мало известны широкому кругу геологов, так как они в основной своей массе не опубликованы.

В настоящей монографии излагаются большей частью новые методы прогнозирования, поисков и разведки месторождений горного хрусталя. Рассматриваются методы, используемые при прогнозировании этих месторождений, и результаты их применения.

Например, освещается возможность применения дискретного анализа для количественной оценки информативности различных геологических признаков и автоматической классификации месторождений с целью определения степени их сходства.

Применение формационного анализа показано на примере прогноза месторождений горного хрусталя на Урале. Этот метод по-

зволлил выделить в изученном районе хрусталеносно-пегматитовую и хрусталеносно-кварцевую формации.

Вопросы крупномасштабного и детального прогнозирования рассматриваются с общепринятых позиций также для районов Южного Урала. Приводится методика составления прогнозных карт и подсчета прогнозных запасов, а также методика оценки потенциальной хрусталеносности кварцево-жильных и пегматитовых полей, основанная на сравнении исследуемых объектов с известными месторождениями по комплексу признаков с учетом степени изученности оцениваемых объектов. Использование этой методики иллюстрируется примерами оценки месторождений Казахстана. Сделана попытка выделения структурно-морфологических типов хрусталеносных жил, характеризующих различные зоны надинтрузивной области в районах Восточной Сибири.

В книге описываются также новые методы поисков и оценки хрусталеносных жильных полей и месторождений. Применение дискретного анализа при определении степени перспективности кварцевых жил путем сравнения с эталонным промышленным месторождением освещается на примере Памирской хрусталеносной провинции. Изучение геолого-геохимической зональности месторождений Восточной Сибири позволяет определять глубину их эрозионного среза по характеру газовой-жидких включений и соотношению элементов-спутников в эндогенных ореолах рассеяния. Перспективы жильных полей этого района на стадии поисковых работ могут быть оценены по характеристике механических ореолов рассеяния кварцевых жил.

Вероятностно-статистические методы оценки перспективности геологических объектов по косвенным признакам и околонедровым ореолам разработаны и применены для слепых хрусталеносных камерных пегматитов Украины и Центрального Казахстана.

Показаны результаты изучения возможностей использования термолюминесценции при поисках хрусталеносных кварцевых жил на Памире.

Наконец, освещаются вопросы определения рациональных пределов сгущения разведочной сети, использования корреляционных связей между геологическими параметрами и учета выдающихся мощностей кварцевых жил при подсчете запасов горного хрусталя.

Таким образом, в монографии нашел отражение широкий круг методических вопросов прогнозирования, поисков и разведки месторождений горного хрусталя. При этом методические вопросы освещены последовательно, от стадии прогнозирования до эксплуатационной разведки месторождений. Книга может служить методическим руководством для геологов, занятых изучением и освоением месторождений горного хрусталя. Некоторые вопросы имеют общее методическое значение и могут представлять интерес для широкого круга геологов.

Было бы неправильно противопоставлять данную книгу имеющимся методическим руководствам. Она не заменяет, а дополняет и уточняет применяемые геологические методы прогнозирования,

поисков и разведки месторождений горного хрусталя. Авторы выражают уверенность, что правильное сочетание геологических, вероятностно-статистических и геостатистических методов исследований может значительно повысить эффективность геологопоисковых и разведочных работ на горный хрусталь.

ГЛАВА I

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

Кочнев И.А., Хетчинс Л.Н. и др.
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Анализ геологических факторов, влияющих на масштабы ору-денения, и количественная оценка информативности поисковых признаков отличаются значительной сложностью. Это объясняется в основном разнообразной природой качественной информации (карты, схемы, описания и др.). Нами количественная оценка информативности отдельных поисковых признаков месторождений горного хрусталя производилась методом дискретного анализа массовой логической информации [21, 22].

На основе имеющихся литературных данных и наблюдений авторов была составлена возможно более полная система признаков, в отношении которых предусматривались ответы: «да» — единица или «нет» — ноль. Вся информация при этом отражала лишь выявленные (наблюденные) факты и величины, а не выводы или мнения. Всего использовано 130 признаков, характеризующих вещественные и пространственно-временные особенности 70 месторождений горного хрусталя, без системы предпочтения различных точек зрения на их генезис. Признаки в общем списке, приведенном на стр. 13, разделены на пять групп; каждая группа признаков обладает содержательной общностью в рамках геологического описания. Группы признаков следующие: региональные, литологические и структурные факторы x_1 — x_{47} , магматизм и метаморфизм x_{48} — x_{84} , морфология кварцевых жил, характер хрустальных гнезд, облик кристаллов кварца x_{85} — x_{130} . Таблица по группам признаков обрабатывалась на ЭВМ типа БЭСМ-3М поэтапно в виде решения самостоятельных задач, соответствующих этим группам признаков по программе, реализующей алгоритмы построения тупиковых тестов. Тем самым предоставлялась возможность определения информационных весов каждого признака $P(i)$, существенного для относительно крупных месторождений.

Для анализа взаимоотношений изучаемых объектов с учетом всех геологических признаков без расчленения их на отдельные однородные группы были использованы также алгоритмы автоматической классификации (метод численной таксономии). Это позволило произвести сравнение и разграничение геологических объектов.

Кроме 12 эталонов крупных и средних объектов 58 объектов были приняты в качестве контрольных.

Количественная оценка информативности поисковых признаков на горный хрусталь

При оценке роли отдельных факторов в формировании хрусталеносных месторождений были использованы данные Р. М. Константинова, А. Н. Дмитриева и Ю. И. Журавлева [21, 22, 47, 54]. Однако методические исследования показали, что чем больше длина тупиковых тестов, тем меньше определенный признак индивидуализирован. Поэтому в ряде случаев более важными будут признаки, входящие преимущественно в короткие тупиковые тесты. Как видно из приведенных на рис. 1 данных, наибольшими информационными весами обладают всего пять региональных ($X_{8, 21, 4, 19, 23}$), четыре литологических ($X_{29, 28, 27, 25}$) и шесть структурно-тектонических ($X_{34, 41, 37, 43, 38, 39}$) признаков.

Признаки $X_{1, 14, 2, 30, 47, 42}$ и др. не набрали достаточного количества голосов по коротким и итоговым тупиковым тестам, и они не несут информации, полезной для оценки крупных регионов, а отражают только детали строения конкретных объектов.

Значение информационных весов для каждого признака, характеризующего магматизм и особенности метаморфических преобразований пород, а также упорядочивание этих признаков в зависимости от длины тупиковых тестов отражено на рис. 2. Видно, что наиболее информоемкими признаками оказались $X_{80, 63, 60, 65, 75, 70, 74, 48}$ по коротким и итоговым тупиковым тестам и $X_{56, 83, 64}$ по коротким тестам. Из признаков, характеризующих магматические факторы хрусталеносности, наибольшим информационным весом отличаются $X_{63, 60, 65, 48, 56, 64}$, а из факторов метаморфизма — $X_{80, 76, 70, 77, 83; 74, 66}$.

Сведения, отражающие особенности морфологии кварцевых жил и гнезд, а также облик кристаллов и значения информационных весов этих признаков, приведены на рис. 3. По итоговым (суммарным) информационным весам признаки практически не отличаются и колеблются в интервале 0,15—0,25. Поэтому для анализа использованы короткие тесты. Наибольшими информационными весами отличаются $X_{85, 116, 105, 98, 119, 87, 88, 92, 93}$.

Анализ полученных данных показывает, что региональные факторы хрусталеносности определяют особенности размещения жильных полей и провинций и в меньшей мере — отдельных месторождений. Наибольшее значение имеют здесь сочетание (стык) разнородных структур, наличие архейского ядра или блоков окварцо-

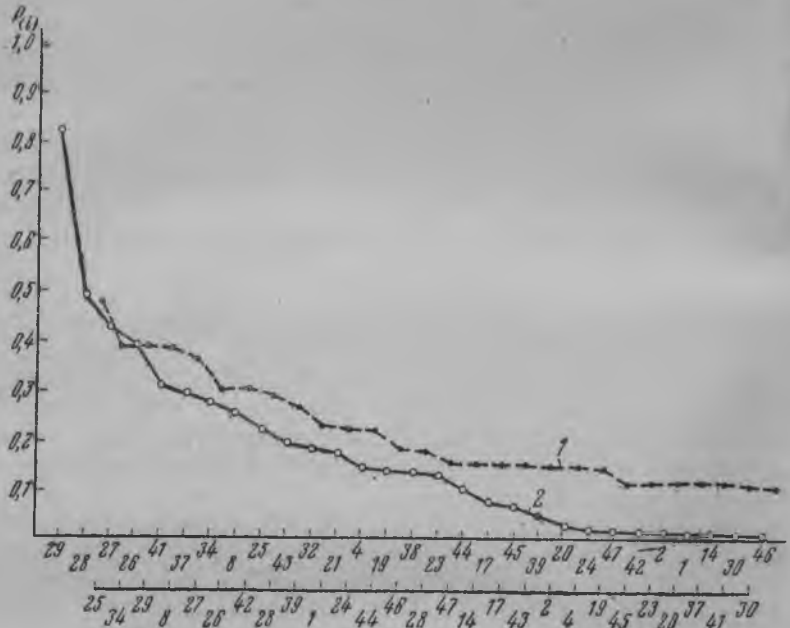


Рис. 1. График упорядочивания информационных весов признаков P_i для региональных, литологических и структурных факторов хрусталенности

1 — по суммарным (итоговым) тупиковым тестам; 2 — по коротким тупиковым тестам

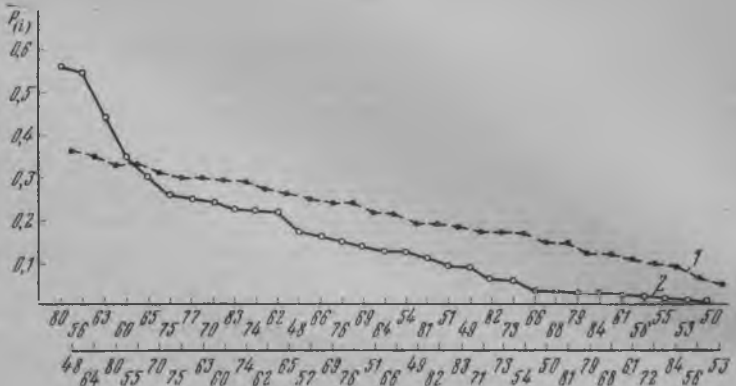


Рис. 2. График упорядочивания информационных весов признаков P_i для магматических и метаморфических факторов хрусталенности

1 — по суммарным (итоговым) тупиковым тестам; 2 — по коротким тупиковым тестам

ванных пород, обрамленных разломами, локализация хрустале-носной минерализации в антиклинальных структурах первого порядка (мегаантиклинориях). Перечисленные признаки логически обоснованы и вытекают из общегеологических представлений, что подтверждает правильность выбранного подхода.

При анализе роли вмещающих пород некоторые выводы оказались неожиданными: наиболее важными для локализации хру-

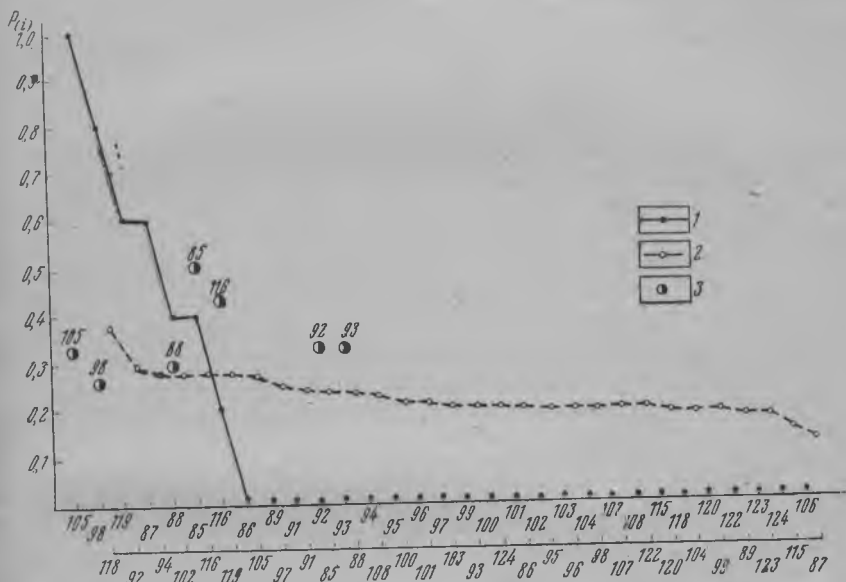


Рис. 3. График упорядочивания информационных весов признаков, характеризующих морфологию кварцевых жил и гнезд, а также облик кристаллов кварца

1 — по суммарным (итоговым) тупиковым тестам; 2 и 3 — по коротким тупиковым тестам

сталеносных полей являются филлиты и кварцево-хлоритовые сланцы, а грубослоистые крупнозернистые кварциты имеют меньшее значение. Как и предполагалось, к весьма важным признакам хрусталеносности относятся экранирующие горизонты сланцев, а также переслаивание литологически различных образований — песчаников, сланцев и карбонатных пород.

Среди структурно-тектонических факторов наиболее существенным является приуроченность хрусталеносной минерализации к мегаантиклинориям второго порядка, особенно изогнутым в плане брахиантиклинальным поднятиям, иногда асимметричного строения, осложненным на крыльях мелкой складчатостью и разломами. Обращает на себя внимание также значительная роль линейно-блоковых структур (с концентрациями жил в тектонических линзах-блоках, обрамленных оперяющими разломами).

На ведущую роль блоковых структур в размещении хрусталеносных образований указывают В. А. Смирнова [79, 80] и другие исследователи. В качестве наиболее существенных локальных структурных факторов в локализации кварцевых жил следует отметить взбросо-сдвиги и сдвиги, унаследовавшие тектонические швы складчатых разрывов, сопровождаемые расланцеванием и милонитизацией, а из пликативных форм — линейные узкие, сжатые складки, осложненные разрывами. Это обстоятельство также неоднократно отмечалось многими геологами.

Магматический контроль хрусталеносной минерализации выражается в основном в приуроченности хрусталепроявлений к дайкам диабазов, амфиболитов и малым интрузиям плагиогранитов, вмещающим оруденение или тесно с ним ассоциирующим. В то же время минерализация располагается на значительном удалении (более 3 км) от крупных интрузивных массивов гранитоидов.

Из околорудных изменений наибольшим информационным весом обладает хлоритизация, затем околосредовая и предрудная альбитизация и эпидотизация. В качестве наиболее существенного регионального фактора хрусталеносности установлена значительная роль предрудного прогрессивного регионального метаморфизма пород с преобладанием фаций зеленых сланцев. Относительно небольшим информационным весом обладают такие признаки, как адуляритизация, пропилитизация, пиритизация, каолинизация.

Интересные выводы получены при рассмотрении информационных весов признаков, относящихся к морфологии кварцевых жил. Обычно кварцевые жилы, залегающие согласно с напластованием вмещающих пород, считаются мало перспективными для поисков хрусталеносных месторождений. Высокие информационные веса признаков x_{85} и x_{93} (см. рис. 3) позволяют утверждать, что нередко наличие пластовых плитообразных согласных кварцевых жил и линзовидных жил, сопровождающихся апофизами, влияет на размещение хрусталеносной минерализации и способствует концентрации продуктивных гнезд с горным хрусталем в секущих по отношению к вмещающим породам жилах (Бразилия, Памир, Верхоянье). Можно предполагать, что размещение хрусталеносных гнезд вблизи пологих пластовых жил связано с их экранирующей ролью по отношению к поздним хрусталеобразующим растворам.

Высокие информационные веса имеют и некоторые другие признаки морфологии кварцевых жил. Например, для крупных месторождений характерны многоярусные, сложно ветвящиеся, соединенные тонкими проводничками жилы с камерными раздувами, а также линзовидные и четковидные, со ступенчатым смещением жильные тела. Они сопровождаются крупными кристаллами кварца массой до 40 т, а также кристаллами обелисковидного облика. Последние два признака тоже относятся к числу важных для оценки масштабов оруденения. Таким образом, математическая обработка геологических данных позволяет получить количественную оценку признаков хрусталеносности, поэтому при поисковых работах в первую очередь должны выявляться признаки, отражающие

Как видно из рис. 4, к 25-му шагу объединения все месторождения разбились на восемь групп. При этом объекты Бразилии, Алдана, Южного Урала, Памира, Верхоянья и два месторождения Восточного Памира образуют обособленные группы, отражающие региональные особенности этих территорий. В то же время месторождения Мадагаскара, Австралии, Гватемалы и Китая имеют много общего и объединяются в одну группу. Это же можно сказать и о месторождениях Казахстана, Алтая, Тянь-Шаня, Монголии и Полярного Урала, для которых региональные отличия в геологии этих участков земной коры проявлены менее, чем сходство геологического строения тех или иных конкретных месторождений.

Последующие после 25-го шага объединения этих восьми групп отражают степень их сходства. К группе бразильских месторождений вначале присоединяются как наиболее сходные с ними объекты Мадагаскара, Австралии, Гватемалы и Китая, а затем Алданского щита. Второе «ядро» представлено месторождениями Казахстана, Алтая, Тянь-Шаня, Монголии, Урала и Западного Памира, третье — объектами Верхоянья и Восточного Памира. Следовательно, при принятом «масштабе» расчленения месторождения Алданского щита оказываются наиболее сходными с зарубежными. Объекты Памира резко неоднородны: так, по комплексу признаков проявления Восточного Памира более сходны с проявлениями провинций Верхоянской области, чем Западного Памира.

Если провести дальнейшее сравнение полученных трех «ядер», то окажется, что ко второму «ядру» наиболее близко третье. На предпоследнем шаге объединения все объекты разделяются на две группы. В первую входят месторождения Бразилии, Мадагаскара, Австралии, Гватемалы, Китая и Алданского щита, во вторую — все остальные. Эти группы четко отвечают региональным геологическим особенностям соответствующих территорий, а именно — платформенным и геосинклинальным областям.

Выводы

1. Применение дискретного анализа позволило на основании геологических данных получить количественную характеристику признаков, благоприятных для образования месторождений горного хрусталя. Эти результаты могут быть использованы при предварительной оценке месторождений. В качестве наиболее значительных локальных рудомещающих структур отмечаются линейные, сжатые складки, осложненные разрывами, и брахиантиклинальные поднятия асимметричного строения. Наиболее характерными околорудными изменениями являются хлоритизация и альбитизация.

2. Использование алгоритмов «Спектр» и «Объединение» позволило произвести классификацию 70 месторождений горного хрусталя по комплексу признаков. Установлено, что проявления горного хрусталя Алданского щита наиболее сходны с зарубежными

(Бразилия). Объекты Памира резко неоднородны. Проявления Восточного Памира по комплексу признаков можно отнести к «аномальным». В связи с тем что месторождения Урала, Памира и Алдана резко отличаются друг от друга, при локальном прогнозировании необходимо учитывать своеобразие их формирования в каждой провинции.

Общий код характеристических признаков объектов зарубежных стран и Советского Союза

Региональные факторы хрусталености

- x_1 — размещение хрусталеносной минерализации в щитах и платформах в связи с позднеархейской активизацией, обусловленной развитием соседних геосинклинальных областей;
- x_2 — размещение хрусталеносной минерализации в щитах и платформах в связи с палеозойской (каледонской, герцинской) активизацией;
- x_3 — размещение хрусталеносной минерализации в щитах и платформах в связи с мезозойской активизацией;
- x_4 — наличие архейского ряда (нерегенерированных остатков фундамента блокового строения);
- x_5 — размещение хрусталеносной минерализации во внутренних частях платформ или по периферии синеклиз и в примыкающих зонах щитов;
- x_6 — локализация кварцевых жил в областях сочленения щитов с синеклидами, образованными на докембрийском складчатом фундаменте, прогибавшемся в мезозое и кайнозое;
- x_7 — развитие хрусталеносной минерализации в древних структурных зонах (щитах, платформах) на сочленении с геосинклинальными областями без краевых прогибов;
- x_8 — двухстороннее развитие рифейских складчатых образований с проявлением краевой внешней зоны и ранее образованной внутренней зоны (интерниды и централиды). Хрусталеность приурочена к стыку этих структур;
- x_9 — приуроченность хрусталености к зонам сочленения узкой остаточной синклинали с ранее консолидированными рифейскими образованиями;
- x_{10} — кварцевая минерализация в крыльях брахиантиклинальных поднятий в щитах и платформах;
- x_{11} — размещение хрусталеносной минерализации в синклиналях второго порядка в щитах;
- x_{12} — развитие линеаментов (глубинных разломов) вдоль древнейших тектонически ослабленных зон, активизированных в позднее время и сопровождавшихся проявлением интрузивного магматизма;
- x_{13} — распределение хрусталеносной минерализации вдоль зон разломов или смещение в сторону от них и связь с определяющими локальными разломами (в пределах щитов);

- x_{14} — размещение хрусталеносной минерализации вблизи сочленения платформ с геосинклинальными складчатыми областями или вблизи сочленения складчатых систем различного возраста. Обособленность хрусталеносной минерализации в более молодых структурных зонах, обрамленных краевыми прогибами;
- x_{15} — размещение хрусталеносной минерализации в гетерогенных геосинклинальных складчатых каледоно-герцинских областях в связи с герцинской или мезозойской активизацией;
- x_{16} — размещение хрусталеносной минерализации в герцинских складчатых областях в связи с поздними и конечными этапами их развития или в областях ранней консолидации по периферии подвижных систем;
- x_{17} — приуроченность хрусталеносных проявлений к верхнепалеозойским поднятиям, пережившим мезозойскую складчатость и палеогенную активизацию;
- x_{18} — развитие хрусталеносных поясов и зон вдоль или вблизи зон краевых глубинных разломов и зон смятия длительного развития, обновленных в конечные этапы тектонических циклов (герцинские складчатые области);
- x_{19} — формирование хрусталеносных зон в оперяющих разломах, сопряженных с тектоническими швами вдоль даек диабазов, или вдоль даек апофиз и сателлитов, расположенных в лежащих боках многофазных интрузивов;
- x_{20} — блоковое строение тектоно-магматических поясов с тектоническими линзами жестких пород (герцинские складчатые области);
- x_{21} — приуроченность хрусталеносных зон к тектоническим блокам окварцованных пород, обрамленных разломами;
- x_{22} — приуроченность хрусталеносности к антиклинальным зонам внутренних частей складчатых геосинклинальных систем (срединные массивы) в пределах ядер и крыльев этих структур;
- x_{23} — локализация хрусталеносной минерализации в антиклинальных структурах первого порядка (мегантиклинориях).

Литологические факторы хрусталеносности

- x_{24} — присутствие в разрезе первично основных вулканогенных метасоматически измененных пород;
- x_{25} — переслаивание песчаников, сланцев, алевролитов, прослой карбонатных пород и углистых сланцев;
- x_{26} — сланцы и алевролиты в виде отдельных горизонтов, играющих роль экрана;
- x_{27} — песчаники, кварцито-песчаники, кварциты, мигматизированные кварциты;
- x_{28} — грубослоистые, крупнозернистые и косослоистые кварциты;
- x_{29} — филлиты, кварцево-хлоритовые сланцы, превращенные в кристаллические сланцы, гнейсы;

- x_{30} — известняки, мраморы (доломитизированные, альбитизированные и окварцованные);
- x_{31} — амфиболиты, диабазы, диориты в виде даек;
- x_{32} — гнейсо-граниты, граниты, диориты, плагиограниты.

Структурно-тектонические факторы хрусталености

- x_{33} — хрусталеносная минерализация размещена в пределах крупных геантиклинальных поднятий, сформировавшихся в процессе каледонско-герцинского тектогенеза;
- x_{34} — объекты приурочены к мегантиклинориям второго порядка; 1)
- x_{35} — объекты располагаются в краевых пограничных частях геантиклинальных поднятий или несколько удалены от них; 1)
- x_{36} — минерализация размещена в ядерных частях, на крыльях антиклинорий или в участках их периклинального замыкания;
- x_{37} — хрусталеносная минерализация приурочена к изогнутым в плане брахиантиклинальным поднятиям, осложненным на крыльях мелкой складчатостью, межформационными срывами, сбросами; 3)
- x_{38} — жильные зоны приурочены к антиклиналям и горст-антиклиналям асимметричного строения с перегибами шарниров, тектоническими разрывами и мелкой складчатостью; 5)
- x_{39} — минерализация приурочена к узким, сжатым линейным складкам, осложненным разрывами и мелкой складчатостью; 6)
- x_{40} — жильные поля приурочены к поздним разрывным структурам, наложенным на внутренние тектоно-магматические пояса или на обрамляющие долгоживущие разломы, в том числе межформационные;
- x_{41} — линейно-блоковый характер хрусталеносных зон с концентрацией жил в тектонических линзах-блоках, обрамленных оперяющими разломами; 2)
- x_{42} — поясово-перистый характер размещения хрусталеносной минерализации (в местах пересечения оперяющих разломов);
- x_{43} — взбросо-сдвиги и сдвиги (приспособленные к складчатому деформационному плану), унаследовавшие тектонические швы соскладчатых разрывов, сопровождаемые рассланцеванием и милонитизацией; 4)
- x_{44} — наличие субгоризонтальных надвигов, образующих параллельные зоны; надвиги в сторону массивов гранитоидов;
- x_{45} — наличие флексурообразных малорадиусных изгибов пластов с разрывными дислокациями;
- x_{46} — приуроченность хрусталеносных жил к тектоническим нарушениям, расположенным в сводовых частях антиклинальных и брахиантиклинальных складок;
- x_{47} — наличие извилистых контактов разломов; сочленения нарушений разных направлений.

Магматические факторы хрусталености

- X₄₈ — расположение гранитоидных массивов согласно общему тектоническому плану;
- X₄₉ — парагенетическая связь кварцевых жил с посторогенными гранитоидными интрузивами архейского и рифейского возраста (в пределах щитов), а также концентрация хрусталепооявлений в надинтрузивных зонах;
- X₅₀ — пространственная и структурная связь кварцевых жил с интрузивами гранитоидов, близкими по комплексу малым интрузиям и дайкам (от основного до кислого состава) конечных тектоно-магматических этапов (в пределах геосинклиналей);
- X₅₁ — наличие многофазных гранитных интрузивов, приуроченных к ядрам антиклиналей второго порядка с пологой куполовидной поверхностью кровли;
- X₅₂ — развитие субщелочных гранитов заключительной интрузивной фазы;
- X₅₃ — наличие гранитов с повышенным содержанием щелочей и кварца;
- X₅₄ — присутствие слабо эродированных гипабиссальных гранитов средних и поздних этапов развития складчатых областей;
- X₅₅ — наличие выступов поверхностей интрузивов, сопровождающихся апофизами;
- X₅₆ — наличие порфирировидных или контаминированных (с неустойчивой структурой) гранитов;
- X₅₇ — слабый гибридизм гранитов;
- X₅₈ — наличие ксенолитов вмещающих пород;
- X₅₉ — высокое содержание калиевых полевых шпатов и низкое — плагиоклаза и темноцветных минералов;
- X₆₀ — наличие в гранитах турмалина, флюорита, монацита;
- X₆₁ — интенсивное развитие жильно-магматических и гидротермальных образований (лейкократовые и аплитовидные граниты, пегматиты, аляскиты);
- X₆₂ — расположение хрусталеносных образований в эндо- или экзоконтакте гранитоидных массивов или в надинтрузивных зонах;
- X₆₃ — объект удален от интрузивного массива на расстояние более 3 км;
- X₆₄ — наличие малых интрузий (плагиограниты, плагиоаплиты, гранодиориты, дайки диабазов, превращенных в амфиболиты);
- X₆₅ — залегание хрусталеносных жил вдоль даек диабазов, амфиболитов, диоритов, кварцевых порфиров.

Факторы метаморфизма

- X₆₆ — прогрессивный региональный метаморфизм пород с преобладанием фаций зеленых сланцев; 7
- X₆₇ — наложенный зеленосланцевый метаморфизм в узких ослабленных зонах с хлоритизацией, серицитизацией, эпидотиза-

- цией и образованием кварц-плаггиоклазовых метасоматитов;
- X₆₈ — проявление позднего локального регрессивного метаморфизма (диафтореза), развивающегося вдоль зон разломов;
- X₆₉ — региональный метаморфизм в амфиболитовой фации;
- X₇₀ — предрудная альбитизация; 3.
- X₇₁ — предрудное окварцевание и перекристаллизация пород;
- X₇₂ — наличие сложных поликомпонентных гидротермально измененных пород.
- X₇₃ — околожилные изменения (висячий и лежащий контакт жил) — турмалинизация, окварцевание или слабая серицитизация;
- X₇₄ — околожилные (окологнездовые) изменения в лежащем боку жил — серицитизация, карбонатизация; 6
- X₇₅ — окологнездовая альбитизация;
- X₇₆ — карбонатизация (анкерит, доломит, кальцит); 2.
- X₇₇ — эпидотизация; 4.
- X₇₈ — серицитизация;
- X₇₉ — каолинизация и оталькование;
- X₈₀ — хлоритизация; 1.
- X₈₁ — пропилитизация;
- X₈₂ — пиритизация;
- X₈₃ — гематитизация; 5
- X₈₄ — адуляритизация.

Характеристика кварцевых жил, гнезд и кристаллов кварца

- X₈₅ — наличие пластовых согласных плитообразных жил (приуроченных к согласным трещинам);
- X₈₆ — параллельные плосколинзовидно-четковидные зоны (сближенные минерализованные трещины и жилы в линзах амфиболитов, кварцитов и гранитов);
- X₈₇ — ветвистые неправильной формы жилы (с камерными раздувами) четковидной формы, характерны апофизы;
- X₈₈ — многоярусные жильные зоны (иногда с перистым оперением), полого падающие жилы располагаются ярусами по падению разломов;
- X₈₉ — штокверкообразные жилы, кварцевые жилы развиваются сериями около разлома;
- X₉₀ — хрусталеносные зоны блокового строения с шахматным расположением кварцевых жил;
- X₉₁ — седловидные жилы в межпластовых полостях отслоения (в шарнирах антиклиналей) или лестничные жилы, залегающие поперек даек и блоков сланцев;
- X₉₂ — четковидно-линзовидные ступенчатые зоны (в сланцах и мраморах), иногда с двухсторонним перистым оперением;
- X₉₃ — пологие линзовидные жилы, осложненные апофизами;
- X₉₄ — плоско-линзовидные зоны представлены одной крупной жилой средней длиной до 25 м;

- x_{95} — чечевицеобразные, линзовидные и каплеподобные тела (линзы-полости), жилы сблизенно-параллельные;
- x_{96} — форма жил клиновидная, рубцовая;
- x_{97} — форма линзовидная, пластовая, ветвистая;
- x_{98} — гнезда (асимметричные, линзовидные), наложенные на ранее образовавшиеся кварцевые жилы;
- x_{99} — гнезда (щелевидные, линзовидные прерывистые), наложенные на вмещающие породы (минерализованные трещины);
- x_{100} — гнезда (линзовидные, кавернозные) смешанного типа, полость выходит за пределы кварцевой жилы в сторону вмещающих пород;
- x_{101} — гнезда (линзовидные) расположены вдоль зальбандов жил в местах их изгибов, лежащих боках, реже висячих в камерных раздувах;
- x_{102} — локализация гнезд в нижних выклинивающихся частях жил по падению или склонению (клиновидные, линзовидные, пригнутленные);
- x_{103} — гнезда остаточного типа (линзовидно-щелевидные), расположенные в зонах дробления жил;
- x_{104} — гнезда приурочены к дайкам амфиболитов или диабазов;
- x_{105} — многополостные многоярусные жилы, соединенные проводниками (гнезда расположены в различных частях жил);
- x_{106} — наличие около гнезд оторочек полупрозрачного гигантозернистого кварца;
- x_{107} — гнезда тектонического происхождения в секциях жил и полостях (пересечение жил тектонической зоной), камеры, трубки, карманы, приуроченные к раздувам жил;
- x_{108} — присутствие гнезд крупных размеров (длиной более 20 м);
- x_{109} — жильный кварц с зонами перекристаллизации и следами наложенных процессов, сечется прожилками поздних генераций (метасоматический характер кварца);
- x_{110} — структура кварца мелкозернистая, кварц полупрозрачный;
- x_{111} — структура кварца среднезернистая;
- x_{112} — шестоватый гигантозернистый кварц;
- x_{113} — наличие полостей друзовидного кварца;
- x_{114} — в кварце отмечаются пирит и флюорит;
- x_{115} — гексагональный габитус кристаллов (развитие граней гексагональной призмы, положительного и отрицательного ромбоэдров);
- x_{116} — обелисковидный облик кристаллов, несимметричное строение головки;
- x_{117} — средняя масса кристаллов 150—200 г, средняя длина 5—10 см;
- x_{118} — средняя масса кристаллов 200—500 г, средняя длина 10—15 см;
- x_{119} — наличие крупных кристаллов массой от 0,5 кг до 40 т, средняя длина от 15—20 см до 1,5 м;

- x_{120} — наличие дополнительных поверхностей в виде гемиедрических площадок, притупляющих ребра смежных граней призмы, характерна штриховка;
- x_{121} — кристаллы со следами регенерации, наличие фантомов;
- x_{122} — короткостолбчатые кристаллы, отношение $L_2 : L_3 = 1 : 1$;
- x_{123} — среднестолбчатые кристаллы, отношение $L_2 : L_3 = 1 : 3$;
- x_{124} — длинностолбчатые (длиннопризматические) кристаллы, отношение $L_2 : L_3 = 1 : 4$;
- x_{125} — наличие в кристаллах дополнительных граней — острейших ромбоэдров, тригональных трапецоэдров, тригональной дипирамиды;
- x_{126} — бесцветные прозрачные кристаллы, после гамма-облучения — цитриновидные;
- x_{127} — радиационно-устойчивые кристаллы;
- x_{128} — бесцветные неокрашенные кристаллы, после гамма-облучения — дымчатые;
- x_{129} — наличие природной дымчатой, цитриновой и аметистовидной окраски;
- x_{130} — уплощенные кристаллы тригонального облика.

ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПРОГНОЗЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ НА УРАЛЕ

Формационный анализ в настоящее время благодаря работам Е. Е. Захарова, В. А. Кузнецова, А. Д. Щеглова, И. Г. Магакьяна, Д. И. Горжевского, Р. М. Константинова, В. С. Қормилицына и других исследователей выделен в один из самостоятельных разделов учения о рудных месторождениях. Методы формационного анализа являются научной основой прогнозно-металлогенических исследований [55].

Большинство авторов под рудными формациями понимают группы рудных месторождений, характеризующихся сходным минеральным составом и близкими геологическими условиями образования [30, 48, 49, 51, 55, 61, 85]. При этом важнейшим, как отмечают Е. Е. Захаров [30] и другие исследователи, является выделение рудных формаций на основе объективно существующих свойств рудных месторождений, независимо от взглядов на их генезис, поскольку представления о генезисе могут быть дискуссионными и меняющимися. Соответственно выделение рудных формаций производится главным образом по минеральному составу руд с учетом состава вмещающих пород и некоторых других хорошо определяемых геологических признаков.

К основным задачам формационного анализа эндогенных рудных месторождений, сформулированным Р. М. Константиновым [61], относятся обоснованное выделение и разграничение рудных формаций; определение их промышленной значимости; построение рудно-формационных классификаций; определение формационной принадлежности отдельных месторождений и их прогнозная оцен-

ка; выяснение закономерных соотношений различных рудных формаций в пространстве и времени и геологических условий, определяющих их появление; прогноз вероятных типов оруденения на основе рудно-формационных исследований.

Приведенные выше принципы выделения рудных формаций по минеральному составу рудных тел позволяют разделить эндогенные хрусталеносные образования Урала на две формации — хрусталеносно-пегматитовую (гнезда с кристаллами кварца размещаются в телах пегматитов, рассматриваемых как образования определенного состава и строения независимо от взглядов на их происхождение) и хрусталеносно-кварцевую (гнезда приурочены к кварцевым жилам). Первая формация являлась промышленным источником горного хрусталя на Урале в прошлом и в начале нынешнего столетия [90], и ее месторождения в значительной степени выработаны. Месторождения второй формации представляют промышленный интерес в настоящее время.

Горный хрусталь на Урале встречается, кроме того, на месторождениях ряда рудных формаций, в том числе золото-кварцевой, вольфрамито-кварцевой и других, где он содержится в незначительных количествах и не обладает необходимыми для использования в технике качествами. Поэтому указанные формации как собственно хрусталеносные не выделяются. Горный хрусталь здесь присутствует либо как второстепенный минерал той или иной металлорудной формации, либо на локальных площадях наблюдается пространственное совмещение одной из металлоносных рудных формаций и слабого проявления наложенной минерализации более молодой хрусталеносно-кварцевой формации. Это было отмечено, например, на Кочкарском месторождении золота [84]. На стадии регионального (мелкомасштабного) прогнозирования прогнозно-минерагенические карты составляются с учетом общего формационного деления. Каждая из хрусталеносных формаций вследствие геолого-генетических отличий занимает свое закономерное место в регионе и приурочена к определенным структурно-фациальным зонам. Формационный анализ дает возможность установить пространственное распределение месторождений и хрусталепроявлений той или иной формации и с учетом этого выявить закономерности их размещения, определить основные факторы геологического контроля объектов каждой формации и выделить региональные критерии прогноза перспективных площадей — хрусталеносных зон, районов и узлов, относящихся к наиболее важной в промышленном отношении формации.

Такой формацией на Урале, как уже отмечалось, является хрусталеносно-кварцевая. Многочисленными исследованиями А. Е. Карякина, В. А. Смирновой, нашими, а также наблюдениями многих других геологов устанавливается более поздний характер хрусталеносной минерализации, накладывающейся на безрудные кварцевые жилы нередко после длительного перерыва. Генетически минеральное выполнение гнезд является метаморфогенным, сформировавшимся в результате заимствования минералообразующих

компонентов из окружающих пород [3, 38]. Геолого-генетическими особенностями месторождений хрусталеносно-кварцевой формации обуславливается большое влияние состава и степени метаморфизма вмещающих пород на образование промышленных скоплений горного хрусталя. Отличаясь от других хрусталеносных и рудных формаций условиями возникновения, хрусталеносно-кварцевая формация Урала в региональном плане образует самостоятельные протяженные хрусталеносные зоны [3, 78], обычно пространственно изолированные от зон других эндогенных образований и лишь на отдельных участках территориально сближающиеся с ними или накладывающиеся на них.

При средне- и крупномасштабном прогнозировании значение формационного анализа возрастает еще больше. На этой стадии работ требуется более дробное разделение прогнозируемой перспективной формации на субформации и формационные типы. На важность более дробного деления рудных формаций указывают В. А. Кузнецов [55], Г. А. Твалчрелидзе [85], Р. М. Константинов [61] и другие исследователи. Так, Г. А. Твалчрелидзе полагает, что выделение все большего количества новых рудных формаций нерационально, поэтому необходимо проводить расчленение формации на субформации и далее на минеральные типы. Р. М. Константинов рекомендует выделять формационные или геологические типы.

Расчленению в прогнозно-минерогенетических целях подлежат, естественно, промышленно-перспективные формации, в рассматриваемом случае — хрусталеносно-кварцевая. Принципиальным является вопрос, какие признаки, присущие месторождениям этой формации, следует принять в качестве определяющих при ее расчленении. Опыт показал, что минеральный состав гнезд при этом не может служить достаточно надежным критерием. Он чрезвычайно пестр, и нередко хрусталеносные гнезда, связанные с одной и той же кварцевой жилой, могут иметь неодинаковый минеральный состав, в зависимости от особенностей их расположения в пределах жильного тела.

Многие исследователи, в частности Е. Е. Захаров [30], В. С. Домарев [25] и другие, важным критерием выделения рудных формаций в целом называют характер вмещающих пород. Хрусталеносная минерализация находится в особенно тесной зависимости от состава окружающих гнезда пород. Напомним, что на этом основании А. С. Гудковым [18] была предложена промышленно-генетическая классификация месторождений пьезооптического кварца. Он отметил, что состав вмещающих пород является главным фактором, обуславливающим химизм кристаллообразующих растворов, размеры и морфологические особенности хрусталеносных полостей и качество кристаллов. Следует добавить, что приуроченность месторождений и хрусталепроявлений к определенным комплексам пород может быть вполне объективно установлена, что дает возможность использовать этот критерий не только для генетической, но и для формационной классификации.

На Урале месторождения, локализующиеся в разных комплек-

сах пород, например в метапелитовых кристаллических сланцах, кварцитах, метаморфизованных вулканогенных породах, гранитоидах и др., весьма четко различаются по характеру размещения структуре, минеральным парагенезисам гнезд, количеству и качеству кристаллосырья и ряду других признаков. Примером может служить Восточно-Уральская хрусталеносная провинция. Здесь по признаку различия вмещающих пород можно выделить две главные субформации хрусталеносно-кварцевой формации. В первую включены хрусталеносные поля и месторождения, размещающиеся среди толщ метаморфизованных вулканогенных пород ордовикско-нижнедевонского структурного яруса, во вторую — поля и месторождения, локализующиеся в кристаллических сланцах и гнейсах, образовавшихся по терригенно-осадочным породам того же структурного яруса. Основные различия между хрусталеносными полями (месторождениями) этих субформаций, имеющие важное прогнозно-минерагеническое значение, приведены в табл. 1.

Кроме указанных субформаций в Восточно-Уральской провинции целесообразно выделять также субформацию хрусталеносных полей, располагающихся в крупных массивах гранодиоритов и плагиогранитов верхнепалеозойской гранитовой формации, и субформацию хрусталеносных полей, приуроченных к толщам слабометаморфизованных осадочных пород, представленных углистыми филамитами и песчаниками нижнекаменноугольного структурного яруса. Поля и месторождения этих субформаций характеризуются также присущими только им отличительными признаками. Однако обе субформации значительно менее перспективны в промышленном отношении, поэтому мы остановимся на них менее подробно.

Следует, кроме того, отметить, что в рассматриваемую формацию входят также единичные хрусталепроявления, которые нельзя включить ни в одну из четырех выделенных субформаций. К ним относятся хрусталепроявления в мраморизованных известняках, серпентинитах и некоторых других породах. Распространение подобных хрусталепроявлений крайне ограничено, практического значения они не имеют, выделение их в самостоятельные субформации нецелесообразно, но в качестве отдельных формационных типов хрусталеносно-кварцевой формации они могут рассматриваться.

Вернемся к двум главным субформациям Восточно-Уральской хрусталеносной провинции, характеристика которых приведена в табл. 1. Литологически совершенно разные комплексы пород, с которыми связаны эти субформации, благодаря различиям в условиях их образования занимают неодинаковое положение в региональных геологических структурах Восточного Урала. Нижнепалеозойские метавулканы локализируются в областях сочленения региональных геоантиклинальных поднятий с соседними погружениями — Тагило-Магнитогорским и Восточно-Уральским. Метапелитовые кристаллические сланцы и гнейсы залегают в центральных частях поднятий, слагая купольные структуры, в ядрах которых располагаются массивы гранитоидов.

Отличительные признаки хрусталеносных полей и месторождений
двух главных субформаций Восточно-Уральской
хрусталеносно-кварцевой формации

Геологические факторы и признаки	Первая субформация	Вторая субформация
Литологические (определяющие)	Приуроченность к метаморфитам и кварц-плагиоклазовым метасоматитам, развитым по эффузивам и туфам базальтового и андезитового состава (ордовикско-нижнедевонский структурный ярус)	Приуроченность к кристаллическим сланцам и гнейсам, образовавшимся по терригенным осадкам нижнего палеозоя (ордовикско-нижнедевонский структурный ярус)
Структурно-тектонические Региональные	Локализация в краевых частях положительных структур II и III порядка — мегантиклинориях и антиклинориях	Приуроченность к центральным частям тех же структур
Локальные	Приуроченность к приподнятым складчатоглыбовым структурам — горст-антиклиналям, усложненным разрывами, брахиантиклиналями и др. Повышенная роль разрывной тектоники	Приуроченность к сводам и крыльям складчатых структур — брахиантиклиналям, седловидным складкам и др., иногда осложненным тектоническими разрывами. Роль разрывной тектоники второстепенна
Метаморфические	Региональный метаморфизм пород фации зеленых сланцев, реже — эпидот-амфиболитовой фации. Локальный околотрещинный метасоматоз и метаморфическая дифференциация	Региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Зоны локального зеленосланцевого диафореза или наложенного метаморфизма
Магматические	Нередкое развитие на территории хрусталеносных полей даек и малых интрузий диоритов, гранодиоритов и плагиогранитов среднепалеозойского возраста	Пространственная близость к массивам верхнепалеозойских микроклиновых гранитов, иногда на площади хрусталеносных полей локализуются тела ортоамфиболитов
Характер распределения кварцевых жил	Обычно сближенное размещение кварцевых жил с локализацией по линейным направлениям и с образованием жильных зон	Рассеянное, реже кустовое распределение кварцевых жил, линейные жильные зоны не характерны
Форма кварцевых жильных тел	Чаще сложная. Жильные тела с разветвлениями, раздувами, переживаниями	Обычно линзовидная, изредка с небольшими усложнениями

Геологические факторы и признаки	Первая субформация	Вторая субформация
<p>Характер размещения хрусталеносных гнезд</p> <p>Форма хрусталеносных гнезд</p> <p>Минеральные парагенезисы в гнездах (по главным минералам, кроме горного хрусталя)</p> <p>Некоторые особенности жильного кварца</p>	<p>Кварцевые жилы обычно многополостные, содержащие по несколько хрусталеносных гнезд, располагающихся в различных частях жил, нередко в их висячих боках</p> <p>Разнообразная, обычно сложная</p> <p>Разнотипные. Выделяются адуляр-хлоритовые, альбит-хлоритовые, пиритовые и другие</p> <p>Кварц гигантозернистый, метаморфизован слабо</p>	<p>Кварцевые жилы обычно однополостные с расположением единственного гнезда на выклинивании по падению, реже по простираанию жильного тела</p> <p>Простая — клиновидная или линзовидная</p> <p>Преимущественно однотипные — мусковитовые, хлорит-мусковитовые</p> <p>Кварц гигантозернистый, значительно метаморфизован — отмечаются участки стекловидного, местами разлитованного или гранулированного кварца</p>

Само по себе пространственное разобщение двух главных субформаций, приуроченных к неодинаковым комплексам пород, имеет определенное прогнозное значение. Но этим дело не ограничивается. Принадлежность к разным структурно-фациальным зонам тех комплексов пород, с которыми связаны субформации, а также различия в их физико-механических свойствах и химическом составе обуславливают ряд различий в характере месторождений и хрусталеносных тел рассматриваемых субформаций.

Так, размещение хрусталеносных полей и месторождений первой субформации в краевых частях геантиклинальных поднятий (ближе к зонам глубинных разломов), а также меньшая степень пластичности вулканогенных пород (несмотря на их последующие метаморфические преобразования) приводят к повышению роли дисъюнктивных дислокаций в формировании структуры хрусталеносных полей и месторождений. В противоположность этому хрусталеносные поля и месторождения второй субформации, образование которых происходило под влиянием формирования купольных структур в условиях повышенной пластичности метапелитов, отличаются преимущественным развитием пликативных дислокаций. Все это обуславливает ряд других различий, выражающихся в характере размещения кварцевых жил на месторождениях, в форме кварцевых жильных тел, в степени насыщенности жил хрусталеносными гнездами, в особенностях приуроченности гнезд к тем или иным участкам жильных тел, а также в форме гнезд и в степени их хрусталеносности.

Неодинаковый химический состав вмещающих пород на месторождениях той и другой субформации определяет существенные

различия в минеральных парагенезисах гнезд и оказывает влияние на качественные особенности кристаллов кварца. Например, кристаллы из месторождений второй субформации, как правило, отличаются более грубой блоковой структурой и более высокой степенью трещиноватости. Они обычно крупнее, но количество их в гнездах всегда меньше, чем в гнездах равного объема на месторождениях первой субформации.

Субформация хрусталеносных полей, приуроченных к верхнепалеозойским гранодиоритам и плагиогранитам, пространственно отделена от двух рассмотренных. Входящие в нее хрусталеносные поля представлены преимущественно плитообразными кварцевыми жилами с редкими небольшими гнездами, размещающимися внутри жил и содержащими низкосортные мелкие кристаллы кварца, главным образом дымчатого.

Хрусталеносные кварцевые жилы субформации, связанной с нижнекаменноугольными филлитами и песчаниками, имеют ограниченное распространение. Приурочены они к прослоям и линзам аркозовых песчаников и участкам интенсивной альбитизации сланцев, развитой локально. По форме кварцевых жил и характеру их размещения хрусталеносные поля среди нижнекаменноугольных отложений сходны с полями субформации, связанной с кристаллическими сланцами и гнейсами. Степень же метаморфизма жильного кварца более низкая, а минерализация жил и гнезд иная. Пространственно субформация тяготеет к краевым частям геосинклинальных поднятий, сближаясь с субформацией, приуроченной к метавулканитам, однако хрусталеносные кварцевые жилы той и другой субформации размещаются в разных структурных ярусах.

Разделение единой хрусталеносно-кварцевой формации на ряд субформаций имеет важное практическое значение при прогнозно-минерагеническом районировании территории хрусталеносной провинции. Промышленное значение субформаций неодинаково. Соответственно пространственное разграничение субформаций на прогнозно-минерагенических картах уже на стадии мелко- и среднемасштабного прогнозирования способствует выделению и оконтуриванию наиболее перспективных хрусталеносных районов и узлов. Что же касается крупномасштабного прогнозирования, то оно должно полностью базироваться на формационном расчленении. Выделение эталонных объектов и последующая качественная и количественная прогнозная оценка перспективных хрусталеносных полей может быть достаточно обоснованной и надежной лишь если она будет производиться в пределах каждой субформации. При этом важное значение приобретает дальнейшее разделение субформаций, на формационные или геологические типы хрусталеносных полей и месторождений.

Геолого-генетическая специфика месторождений хрусталеносно-кварцевой формации, как и при разделении ее на субформации, не позволяет использовать различия в минеральном составе жил и гнезд в качестве главного критерия при выделении форма-

ционных (геологических) типов хрусталеносных полей и месторождений. Наиболее рациональным следует считать разделение хрусталеносных полей на типы с учетом особенностей их геологических структур, как это рекомендуют, например, В. С. Домарев [25] и другие исследователи при расчленении некоторых рудных формаций. Подобный принцип типизации хрусталеносных полей и месторождений удобнее для крупномасштабного прогнозирования, сопровождающегося их качественной или количественной перспективной оценкой.

Формационный анализ и типизация хрусталеносных полей и месторождений обеспечивают возможность выделения более конкретных, применительно к каждой субформации, благоприятных критериев и признаков геологического контроля, являющихся основой современного прогнозирования, и создают предпосылки для более глубокого познания геолого-генетических процессов образования месторождений горного хрусталя в той или иной геологической обстановке.

КРУПНОМАСШТАБНОЕ И ДЕТАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ В СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ

Научное прогнозирование ресурсов недр и выделение наиболее перспективных районов для поисков является важнейшим фактором научно-технического прогресса в геологии [77, 97]. Для основных хрусталеносных провинций уже завершен этап составления региональных прогнозных карт. Крупномасштабное и детальное прогнозирование в отличие от регионального мелкомасштабного представляет собой задачу более сложную, связанную с анализом значительно большего числа факторов, определяющих локальные особенности размещения полезного компонента в пределах многочисленных и разнохарактерных хрусталеносных полей и месторождений. К этому следует добавить, что крупномасштабный и детальный прогноз должен сопровождаться не только качественной, но и количественной оценкой площадей и объектов, т. е. определением величины прогнозных запасов. Вместе с тем вопросы методики крупномасштабного и детального прогнозирования и определения прогнозных запасов твердых полезных ископаемых вообще и пьезооптического кварцевого сырья в частности разработаны еще недостаточно.

Правда, в результате научных исследований в последние годы существенно расширился круг разнообразных минералого-геохимических поисковых признаков на горный хрусталь [4, 27, 39, 45, 92 и др.]. Некоторые из них в дальнейшем могут быть использованы в качестве частных критериев при крупномасштабном и детальном прогнозировании. Однако учет каждого из этих признаков в отдельности, вне связи с другими, естественно, не может обеспечить общего решения проблемы прогноза.

В основу крупномасштабного и детального прогнозирования месторождений горного хрусталя на современном этапе должен

быть положен принцип научного анализа полного комплекса выявленных геологических факторов, контролирующих минерализацию. Важнейшим методом должно явиться составление прогнозных карт с отражением на них всех установленных критериев прогноза. Количественным методом оценки может служить метод аналогии — сравнения исследуемых объектов с типовыми хрусталеносными полями, месторождениями или продуктивными телами соответственно. Прогнозирование производится на формационной основе.

Крупномасштабные прогнозные карты по общепринятому делению [43, 72] составляются в масштабах 1:50 000 и 1:25 000, детальные — 1:10 000 и крупнее. Соответственно крупномасштабные прогнозные карты следует составлять для хрусталеносных узлов, а детальные — для хрусталеносных полей и месторождений. Выделяемые в складчатых областях в результате мелко- и среднемасштабного прогнозирования хрусталеносные узлы обычно разнотипны. В частности, на Урале (Восточно-Уральское поднятие) целесообразно различать хрусталеносные узлы, в пределах которых: а) еще не выявлены промышленные месторождения, но по совокупности благоприятных геологических критериев их территории являются перспективными; б) выявлены промышленные месторождения одного генетического типа и ожидается обнаружение месторождений другого генетического типа; в) имеются промышленные и эндогенные, и экзогенные месторождения¹.

Задачи и методы прогнозирования в каждом случае будут различными. Так, в первом случае на территории хрусталеносного узла должно проводиться только крупномасштабное прогнозирование. Цель работ — прогнозная оценка территории узла и входящих в него хрусталеносных полей и выдача рекомендаций по проведению детальных поисковых и предварительных разведочных работ на промышленно перспективных объектах.

В двух других случаях задачи прогнозирования дифференцируются, так как на площадях известных промышленных месторождений, входящих в хрусталеносный узел, ведется детальное, а на всей территории узла — крупномасштабное прогнозирование. Задачей детального прогнозирования в общем является прогнозная оценка неразведанных частей месторождений — их флангов, глубоких горизонтов, отдельных жильных полей, жильных зон, крупных кварцевых жил и ложковых систем. Если на месторождении известны лишь промышленные россыпи, в задачу детального прогнозирования включается определение путей выявления коренных промышленных объектов.

В связи с различием детальности исследований достоверность прогнозных запасов при крупномасштабном и при детальном прогнозировании неодинакова [35]. Соответственно при прогнозировании месторождений горного хрусталя на территории складча-

¹ Имеются в виду хрусталеносные россыпи.

тых областей целесообразно выделять и учитывать три категории прогнозных запасов.

К прогнозным запасам первой категории (D_1) следует относить наиболее достоверные, определяемые на неразведанных частях известных промышленных объектов в процессе составления детальных структурно-прогнозных карт масштабов 1:5000—1:1000 (иногда крупнее). По степени достоверности эти запасы должны приближаться к запасам категории C_2 действующей классификации. Известно, что на месторождениях пьезооптического минерального сырья запасы высших категорий (А и Б) не подсчитываются из-за сложности строения минерализованных тел и крайне неравномерного распределения полезного компонента [17]. В то же время требования к степени разведанности запасов категорий C_1 и C_2 здесь более высокие. Запасы же, отвечающие по степени разведанности категории C_2 действующей классификации, на месторождениях горного хрусталя официально не учитываются. Они и должны оцениваться в качестве наиболее достоверных прогнозных запасов категории D_1 . Данные о прогнозных запасах этой категории используются при проектировании детальных разведочных работ и при планировании прироста разведанных запасов.

К прогнозным запасам второй категории (D_2) будут относиться менее достоверные запасы, определяемые на неразведанных хрусталеносных объектах, локализующихся в пределах площадей известных промышленных месторождений или хрусталеносных полей в процессе составления детальных прогнозных карт масштабов 1:10 000—1:5000. Сведения о прогнозных запасах этой категории должны учитываться при проектировании геологоразведочных работ на стадии предварительной разведки и при перспективном планировании прироста запасов минерального сырья.

К третьей категории (D_3) должны быть отнесены наименее достоверные запасы, определяемые на хрусталеносных объектах в процессе крупномасштабного (1:50 000—1:25 000) прогнозирования территории хрусталеносных узлов. Данные о прогнозных запасах этой категории необходимо учитывать при выборе первоочередных хрусталеносных объектов для постановки работ на стадии детальных поисков и предварительной разведки. Следует отметить, что во многих случаях на стадии крупномасштабного прогнозирования приходится ограничиваться качественной оценкой прогнозируемых площадей и объектов (без определения прогнозных запасов).

Оценка объектов методом аналогии при крупномасштабном прогнозировании предусматривает: 1) классификацию по ряду важнейших признаков всех известных в данном регионе и достаточно изученных промышленных и непромышленных месторождений горного хрусталя; 2) установление критериев прогноза и оценку значимости (информационного веса) геологоструктурных, литолого-петрографических, минералогических, геохимических, палеогеоморфологических и других особенностей месторождений при

локализации полезного ископаемого применительно к той или иной выделенной группе; 3) изучение геологических особенностей неразведанных хрусталеносных полей, выявленных на территории подлежащего прогнозной оценке перспективного хрусталеносного узла; 4) составление крупномасштабной прогнозной карты и определение прогнозных запасов хрусталеносных объектов.

Прогрессивными являются методы математической обработки геологических данных. В последнее время успешно используется метод дискретного анализа при прогнозе золотоносных месторождений в докембрийских конгломератах, сульфидных месторождений никеля, месторождений касситерит-сульфидной формации, редкометалльного и другого оруденения [21, 47, 52, 73].

Метод заключается в обработке шкалы признаков, существенных для исследуемых объектов, статистической обработке и группировке материала, а также решении задач логико-дискретным методом на ЭВМ. Во всех случаях использования данного метода сумма информационных весов признаков оказывается прямо зависящей от масштабов месторождений, что легко определяется графически [21, 47, 73].

Оценка степени перспективности месторождений методом дискретного анализа производится с учетом их формационной принадлежности. Так, в условиях Урала эндогенные месторождения и хрусталепроявления должны рассматриваться отдельно от экзогенных. Геологические признаки, учитываемые при дискретном анализе, для эндогенных месторождений уральской хрусталеносной формации целесообразно объединить в следующие группы (в каждой группе может быть по 5—10 и более признаков): 1) характер приуроченности месторождений к региональным геологическим структурам; 2) особенности локальных геологических структур; 3) морфология и размеры хрусталеносных тел; 4) пространственное положение хрусталеносных тел; 5) типоморфные особенности жильного кварца (учитывая признаки, связанные с газожидкими включениями); 6) характер размещения хрусталеносных гнезд; 7) разновидности вмещающих пород (включая наличие магматических тел и степень метаморфизма пород); 8) характер околожильных и окологнездовых изменений пород (включая геохимические ореолы, ореолы «пропаривания» и др.); 9) минеральные парагенезисы кварцевых жил; 10) минеральные парагенезисы хрусталеносных гнезд; 11) типоморфизм кристаллов кварца.

Для экзогенных месторождений горного хрусталя Урала геологические признаки могут быть сгруппированы следующим образом: 1) геоморфологические особенности территории; 2) уровни ее гипсометрических отметок; 3) особенности развития кор выветривания палеозойских пород; 4) генетический тип, состав и возраст рыхлых отложений древних логов; 5) степень удаленности древних логов от эндогенных хрусталеносных полей; 6) степень хрусталеносности ближайших коренных объектов.

В отличие от мелкомасштабного прогнозирования, крупномасштабное нельзя проводить без специальных полевых исследований и проходки контрольных выработок и буровых скважин. Полевые исследования необходимы для сбора дополнительной информации, которую невозможно было получить ранее при маршрутном опосковании перспективных площадей по методике, применявшейся в пятидесятые годы. В последнее время разработаны многие дополнительные специальные методы изучения перспективных территорий с целью поисков промышленных объектов горного хрусталя. В частности, на Урале применяются кварцметрическая съемка [39], изучение трещинной тектоники и анализ древней ложковой сети с помощью обработки аэрофотоснимков, изучение метаморфической зональности [3, 57], широкий круг минералого-геохимических и геофизических исследований [4, 46 и др.].

Объем и содержание полевых исследований определяются необходимостью составления для прогнозируемой территории серии специальных карт, в которую в зависимости от характера оцениваемых хрусталеносных объектов могут входить: 1) специализированная геологическая карта — карта государственной геологической съемки в масштабах 1:50 000—1:25 000 с выделением зон или участков с благоприятными для размещения хрусталеносной минерализации структурно-тектонической обстановкой, литологией, метаморфизмом пород и т. д.; 2) минерагеническая карта, составленная на основе кварцметрической съемки и минералого-геохимических исследований, с вынесением зон и участков, характеризующихся разным типоморфизмом кварца, сопутствующей минерализацией, геохимическими и другими особенностями; 3) карта геофизических полей и аномалий с их геологической интерпретацией; 4) геоморфологическая карта с выделением участков, благоприятных для формирования древних хрусталеносных россыпей; 5) карта коры выветривания и рыхлых третичных и четвертичных отложений. Возможны и другие виды специализированных карт. Анализ их позволяет в пределах хрусталеносного узла выделить и оконтурить наиболее перспективные хрусталеносные поля и системы россыпей, а также отбраковать неперспективные площади и участки.

Детальное прогнозирование должно слагаться из: а) классификации разведанных рудных тел (жил, жильных зон, россыпей) по степени их продуктивности, а также по структурным, морфологическим, минералогическим, геохимическим, литолого-петрографическим и другим особенностям; б) установления надежных критериев прогнозной оценки и определения значимости каждого из этих критериев в контроле локализации хрусталеносных тел и степени их продуктивности; в) геолого-структурного и минерагенического исследования подлежащих прогнозной оценке жильных полей, жильных зон, их флангов или глубоких горизонтов, а также россыпей; г) прогнозной оценки выделенных перспективных

хрусталеносных объектов (или их флангов и глубоких горизонтов) методом сопоставления (аналогии).

В основе детального прогнозирования лежит составление детальных геолого-структурных карт месторождений, жильных полей, жильных зон. Карты должны сопровождаться геологическими разрезами, на которых должны быть отражены все минералогические особенности хрусталеносных объектов, выделенные в качестве критериев прогноза. Особое внимание при этом следует уделять наиболее изменчивым, но в то же время легко устанавливаемым признакам хрусталеносности, т. е. признакам, которые могут указывать на резкое или заметное изменение степени хрусталеносности исследуемых объектов. К таким признакам, например, относятся приуроченность хрусталеносных кварцевых жил к благоприятным породам (кварцитам, кварц-плагиоклазовым метасоматитам) и отсутствие их в других породах месторождения (углистых сланцах, филлитах), хрусталеносность секущих и нехрусталеносность согласных кварцевых жил, приуроченность гнезд к жилам, сложенным гигантозернистым кварцем, и отсутствие их в жилах гранулированного кварца, и т. д. Важную роль могут играть и другие изменчивые признаки — минералогические, геохимические и пр.

При наличии большого числа косвенных признаков во избежание перегрузки геолого-структурной основы составляется ряд вспомогательных специализированных карт. Важное значение имеют карты физических полей и аномалий, в том числе установленных пьезометодом [46].

Путем анализа составленных карт и разрезов (в зависимости от их масштаба) определяются перспективные жильные поля, жильные зоны и отдельные хрусталеносные тела, устанавливаются предполагаемые контуры развития промышленной минерализации на неразведанных флангах или глубоких горизонтах известных продуктивных тел и жильных зон. Во всех случаях производится оценка прогнозных запасов полезного ископаемого.

Прогнозные запасы при детальном прогнозировании на месторождениях горного хрусталя определяются геологостатистическими методами, преимущественно теми из них, которые отнесены к группе методов «полной геологической аналогии» [40]. Оценочные признаки должны отличаться существенной связью с содержанием полезного компонента, сравнительно легко устанавливаться и поддаваться статистической обработке.

На Урале многие месторождения представлены серией жильных зон, включающих хрусталеносные жилы разной величины. Количество запасов полезного компонента в жиле при равенстве прочих благоприятных условий зависит от размеров (мощности) жильного тела. В подобных случаях для оценки прогнозных запасов первой группы во фланговых частях и глубоких горизонтах известных продуктивных жильных зон может быть рекомендован метод, основанный на корреляционной зависимости между мощностью кварцевых жил и их продуктивностью [86]. Для неопробо-

ванных частей жилых зон сведения о мощности кварцевых жил получают в результате бурения скважин. Прогнозные запасы в жилах определяют с помощью эталонной шкалы.

При оценке прогнозных запасов категории D_1 на хрусталеносных россыпях, представляющих собой объекты с более или менее равномерным распределением кристаллосырья, наиболее приемлемым является метод отнесения запасов на единицу площади, занимаемой неразведанной частью россыпи [40, 41]. При оценке прогнозных запасов категории D_2 и в некоторых случаях категории D_1 , когда меньшая детальность исследований жилых зон и полей не позволяет определить параметры локализующихся в них кварцевых жил, за основу можно взять количество выявленных (и предполагаемых) жилых тел с отнесением равных долей запасов на каждое из них. Для этого необходимо доказательство геологической аналогии оцениваемого объекта (жильной зоны или жилого поля) с хорошо разведанным или отработанным и определение среднего содержания полезного компонента в расчете на каждую кварцевую жилу в выбранном эталоне.

На жилых зонах с не выходящими на дневную поверхность кварцевыми жилами в случае установления общей геологической аналогии жилой зоны с эталоном прогнозные запасы категории D_2 можно определять путем отнесения среднего содержания полезного компонента на единицу площади или на единицу объема, а в некоторых случаях (при резко линейном расположении кварцевых жил, приуроченных к зоне разлома) и на единицу длины жилой зоны.

При наличии геологических данных, подтверждающих распространение оруденения на значительную глубину, прогнозные запасы должны оцениваться до горизонтов рациональной разведки и эксплуатации месторождений.

Поскольку абсолютной геологической аналогии между определяемыми и эталонными объектами быть не может, при установлении прогнозных запасов категории D_2 в ряде случаев целесообразно вводить поправочные коэффициенты, обеспечивающие наибольшее приближение их к реальным.

Для оценки прогнозных запасов категории D_3 можно предложить несколько методов. Наиболее объективным является дискретный анализ с применением ЭВМ. В результате каждый из оцениваемых объектов займет определенное место на графике упорядочения эталонов, построенном с учетом суммы информационных весов признаков. В связи с тем что эталоны на графике располагаются в зависимости от их масштабов (количества запасов), прогнозные запасы определяемого объекта будут примерно равны запасам ближайшего к нему эталонного месторождения на графике.

Более простым методом количественной прогнозной оценки месторождений является относительная оценка рудоконтролирующих факторов в баллах [52]. Для разработки шкалы оценок подсчитывают случаи участия данного фактора в качестве главного

или второстепенного в образовании рудных объектов. Затем составляют сводную шкалу оценок, которую и используют для определения прогнозных запасов.

Наиболее простым, но и наименее точным является метод прямого логического подбора по ряду геологических факторов эталона, наиболее сходного с определяемым объектом, и последующей сравнительной оценки прогнозных запасов. В этом случае кроме общегеологических факторов при определении прогнозных запасов следует учитывать величину площади, занятой эталоном и оцениваемым объектом, и плотность размещения (или количество) жильных тел в их пределах.

Проведение крупномасштабного и детального прогнозирования на научной основе требует дальнейшей разработки методики прогноза и совершенствования способов определения прогнозных запасов. Задачей является уточнение геолого-генетических особенностей месторождений, их формационное расчленение в каждом хрусталеносном регионе, оценка значения различных геологических факторов, контролирующих минерализацию, выделение эталонных объектов, отработка шкалы признаков, существенных для исследуемых месторождений, и т. д. Важное значение имеет также разработка новых минералогических, геохимических и других критериев прогноза.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ХРУСТАЛЕНОСНОСТИ КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ И ПЕГМАТИТОВЫХ ПОЛЕЙ

Представление о перспективности того или иного жильного поля зависит от геологической изученности его в целом. В свою очередь степень изученности объектов влияет на полноту сведений о косвенных признаках хрусталеносности, применение которых лежит в основе оценки перспективности отдельных тел и жильных полей. Предлагаемая методика оценки потенциальной хрусталеносности кварцево-жильных и пегматитовых полей основана на сравнении исследуемых объектов с известными месторождениями по комплексу признаков с учетом степени изученности этих объектов.

Изучение хрусталеносных месторождений позволило установить геолого-структурные особенности и физико-химические условия их формирования, а также важнейшие факторы, влияющие на степень продуктивности отдельных тел. При этом был выявлен ряд признаков хрусталеносности, применяемый геологами при оценке объектов.

При оценке кварцево-жильных полей Казахстана нами в первую очередь были приняты во внимание признаки, указывающие на размещение этих полей в благоприятных структурах (антиклиналях, горст-антиклиналях, горстах, поперечных брахиантиклинальных перегибах) и во вмещающих породах — песчаниках, конгломератах, гранодиоритах. Учитывались следующие виды гидротермальных изменений: каолинизация, хлоритизация, серицитиза-

ция, сопровождающие десиликацию пород около хрусталеносных гнезд. Установлено также, что наиболее перспективными являются жилы пологого залегания, имеющие неправильно-плитообразную форму с раздувами, пережимами и апофизами. Были использованы и такие признаки хрусталеносности, как наличие жильного кварца последней генерации серой и дымчатой окраски, крупно- и гигантозернистой структуры и шестоватой текстуры, наличие минералов-спутников хрусталеносности — шестоватого эпидота, пентагон-додокаэдрического пирита, поздних карбонатов и др. (всего 24 признака).

При оценке пегматитовых полей необходимо было принимать во внимание также факторы, которые способствовали образованию хрусталеносных тел и вмещающих их гранитных массивов — время формирования гранитных массивов, их положение в структурных зонах, особенности внутреннего строения, глубину эрозионного среза, состав и физические свойства вмещающих пород, минеральный и химический состав гранитоидов и т. п. [6, 19, 31, 32, 58].

Применение при оценке кварцевых жил или пегматитов одного-двух, казалось бы, наиболее важных признаков хрусталеносности или даже наличие прямого признака хрусталеносности (находка кондиционных кристаллов кварца) далеко не решает вопрос о перспективности объекта. Так, при анализе данных по одному из месторождений Казахстана установлено, что лишь 25% от всего количества пегматитовых тел, в которых обнаружены кондиционные кристаллы кварца, оказались промышленно-хрусталеносными. Между тем по многим косвенным признакам неоднократно устанавливалась промышленная ценность отдельных объектов.

Наиболее обоснованная оценка изучаемых объектов может быть получена при использовании возможно большего числа косвенных признаков. Подобный вывод сделан и при изучении других типов пегматитов и рудных тел [11].

Для установления потенциальной хрусталеносности жильных полей по комплексу косвенных признаков эти поля сравниваются с хорошо изученными (эталонными) месторождениями. С целью количественного сравнения введем коэффициенты потенциальной хрусталеносности (K_x) и изученности (K_n):

$$K_x = \sum_{i=1}^n P_i / \sum_{j=1}^m P_j, \quad (1)$$

$$K_n = \sum_{j=1}^m P_j / \sum_{s=1}^k P_s, \quad (2)$$

где P — частота встречаемости признака на эталонных месторождениях; P_i — обнаруженных на объекте; P_j — всех изученных на этом объекте и P_s — всех встречающихся на эталонных месторождениях.

Допустим, на шести эталонных месторождениях установлены десять косвенных признаков хрусталености с частотой встречаемости

$$P_5; P'_1 = 6; P'_2 = 4; P_3 = 5; P'_4 = 6; P'_5 = 3; P'_6 = 4; P_7 = 5; \\ P'_8 = 2; P'_9 = 6 \text{ и } P_{10} = 6.$$

Имеющаяся по одному из жильных полей информация показывает, что можно уверенно говорить об изученности сети признаков, отмеченных штрихами, причем пять первых проявлены на данном объекте.

Тогда

$$K_x = \frac{6+4+6+3+4}{6+4+6+3+4+2+6} = \frac{23}{31} = 0,74;$$

$$K_{II} = \frac{6+4+6+3+4+2+6}{6+4+5+6+3+2+5+2+6+6} = 0,66.$$

Наряду с общими для всех хрусталеносных провинций признаками в пределах каждой из них могут быть специфические, присущие только месторождениям данной провинции. Поэтому при установлении числа признаков и оценке объектов по предлагаемым формулам следует учитывать особенности формирования месторождений каждой провинции.

Как можно судить по формулам (1) и (2), чем ближе значения K_x и K_{II} к единице, тем больше вероятность, что изучаемый объект по набору признаков потенциально хрусталеносен. В качестве примера приведен график, составленный по значениям коэффициентов K_x и K_{II} для пегматитовых полей 188 гранитных массивов Казахстана (рис. 5).

С целью выделения наиболее перспективных объектов необходимо принимать некоторые отграничивающие значения K_x . В данном случае принято значение 0,9, так как примерно такой величиной K_x (или выше) характеризуются все известные достаточно разведанные или отработанные хрустале- и флюоритоносные месторождения Казахстана. Следовательно, те пегматитовые поля, которые по значениям K_x располагаются правее линии AB , являются наиболее перспективными, а их расположение по вертикали (значения K_{II}) показывает степень изученности. Если при дальнейшем изучении этих объектов не будет выявлено необходимого количества признаков хрусталености, то соответствующие точки на графике окажутся левее линии AB .

Некоторые точки, расположенные слева от линии AB и соответствующие слабо изученным объектам, в случае получения в результате дополнительных исследований положительных признаков хрусталености могут переместиться правее этой линии и, следовательно, оказаться в группе перспективных. Область этих то-

чек на графике ограничена площадью $ABCD$. Кривая BC рассчитывается при помощи выражения

$$K_{и} = \frac{K'_x - 1}{K_x - 1}, \quad (3)$$

где K'_x — ограничивающее значение K_x .

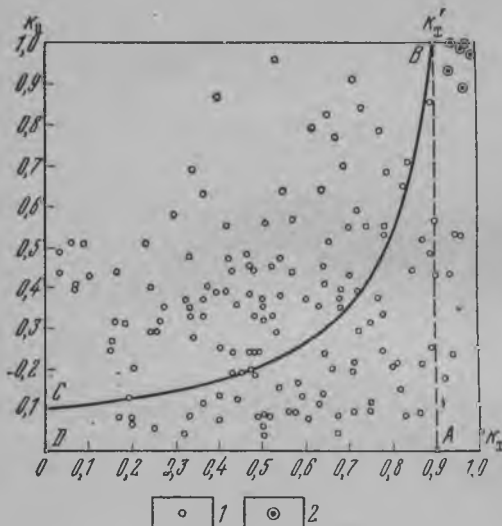


Рис. 5. График размещения пегматитовых полей Казахстана по значениям коэффициентов потенциальной хрусталености (K_x) и изученности ($K_{и}$)

1 — изучаемые объекты; 2 — эталонные месторождения

Тогда

$$K'_x = \left(\sum_{i=1}^n P_i + \sum_{s=1}^k P_s - \sum_{j=1}^m P_j \right) / \sum_{s=1}^k P_s = \sum_{i=1}^n P_i / \sum_{s=1}^k P_s + 1 - \sum_{j=1}^m P_j / \sum_{s=1}^k P_s.$$

Заменив $\sum_{i=1}^n P_i$ на $K_x \sum_{j=1}^m P_j$ из уравнения (1) и $\sum_{s=1}^k P_s / \sum_{s=1}^k P_s$ на $K_{и}$ из уравнения (2), получим $K'_x = K_x \cdot K_{и} + 1 - K_{и}$.

Решая это уравнение относительно $K_{и}$, приходим к выражению (3).

Задаваясь различными значениями K'_x , среди изучаемых объектов можно выделить группы с различной перспективностью на хрусталеность для определения очередности их дальнейшего исследования. Анализ результатов геологоразведочных работ по многим пегматитовым полям Казахстана подтверждает правильность оценки их по предложенной методике.

Уравнение (3) выводится из соотношения

$$K'_x = Y / \sum_{s=1}^k P_s,$$

где Y — сумма частотных весов, которая может быть получена при условии, если дальнейшее исследование объекта покажет присутствие всех ранее не изучавшихся признаков. Таким образом, значение Y равно сумме частотных весов установленных признаков (P_i) плюс сумма всех частотных весов на эталонных месторождениях (P_s) за вычетом суммы частотных весов ранее изученных признаков (P_j), т. е.

$$Y = \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{s=1}^k P_s - \sum_{j=1}^m P_j.$$

Данная методика особенно важна для тех жильных полей, в которых насчитываются многие сотни или несколько тысяч жил. После установления в пределах каждого жильного поля количества потенциально промышленно-хрусталеносных тел можно проводить подсчет прогнозных запасов методом аналогии.

Результаты исследований показывают, что лишь при учете значительного количества признаков хрусталеносности возможно наиболее объективно проводить оценку жильных полей, а также отдельных кварцевых и пегматитовых тел.

Предложенная методика оценки жильных полей с использованием коэффициентов потенциальной хрусталеносности и изученности позволяет применять любое количество косвенных признаков, оценивать перспективы объектов на различной стадии изученности и может быть использована при оценке жильных полей на другие виды полезных ископаемых, например слюдоносные пегматиты.

Огашкин А. В. Бегелов Р. В.

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ И УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ЖИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Гидротермальные хрусталеносные жилы Восточной Сибири сложены молочно-белым гигантозернистым или шестоватым кварцем и сопровождаются ореолами гидротермально измененных пород. Отличительной особенностью хрусталеносных жил является отсутствие в них более или менее значительных концентраций рудной минерализации. Эти тела имеют различную морфологию, варьирующие в широких пределах линейные размеры и локализуются исключительно в кварцитах верхнеалданской свиты архея. По мнению многих исследователей, они генетически или парагенетически связаны с широко развитыми в этой провинции аляскитами.

Хрусталеносные жилы отличаются большим морфологическим разнообразием. Существуют различные структурно-морфологические классификации этих жил [5, 50, 56, 62]. Наиболее удачными являются классификации В. И. Бергера [5] и Г. Б. Митича [62]. Однако и они не учитывают всех накопленных к настоящему времени фактических материалов по геолого-структурным, литолого-петрографическим и другим условиям локализации жил. Предлагается новая структурно-морфологическая классификация, которая, на наш взгляд, соответствует современному этапу изучения хрусталеносных жил провинции. Выделяются пять структурно-морфологических типов жил: плигообразные и линзообразные простые жилы; линейно вытянутые жильные зоны; жильные зоны сложной конфигурации; штокверки и штокверкообразные тела; столбообразные тела.

Плигообразные и линзообразные простые жилы в пределах хрусталеносной провинции распространены наиболее широко. По простиранию они прослеживаются от несколь-

ких метров до первых десятков метров, мощность их обычно не превышает первых метров. На глубину эти тела быстро выклиниваются. Для них характерны кругое, почти вертикальное падение, плитообразные и линзообразные очертания в плане, редкие апофизы в виде мелких разветвлений. Жилы сложены массивным крупнокристаллическим или шестоватым кварцем с первичными остаточными полостями, содержащими небольшое количество кристаллов горного хрусталя весьма низкого качества. Контакты жил с вмещающими породами четкие. Гидротермальные околожильные изменения, как правило, отсутствуют или проявлены весьма незначительно.

Линейные жильные зоны либо залегают в вертикальных зонах рассланцевания, либо приурочены к тектоническому контакту кварцитов и гранито-гнейсов. Эти жилы прослежены по простиранию до 300—400 м, по падению до 120 м при мощности 5—10 м, реже 30 м. Они представляют собой крутопадающие тела с многочисленными раздувами, пережимами и апофизами, а иногда состоят из сложно переплетающихся маломощных жил. Морфология линейных жильных зон определяется характером трещиноватости пород. Практически отсутствуют следы влияния различных литологических экранов. Мало развиты также гранит-пегматитовые и пегматитовые дайки. Жильный материал обычно хорошо раскристаллизован и представлен шестоватым кварцем, содержащим многочисленные наложенные гнезда с большим количеством горного хрусталя.

Гидротермальные околожильные изменения на отдельных участках проявлены достаточно интенсивно. Широко распространены процессы каолинизации и альбитизации, а также перекристаллизации и в меньшей мере выщелачивания кварцитов (табл. 2).

Жильные зоны сложной конфигурации приурочены к контакту кварцитов и межпластовых пологопадающих тел амфиболитов. Значительно больше, чем в предыдущем случае, встречаются дайки гранит-пегматитов и пегматитов. Широко распространены пологие согласные межпластовые нарушения, развитые по контакту кварцитов и амфиболитов. По простиранию эти тела прослеживаются до 350 м, по падению на 60 м и более. Внутреннее строение жильной зоны характеризуется сложным переплетением многочисленных кварцевых жил. Жильный кварц имеет шестоватый облик и содержит многочисленные наложенные гнезда с кристаллами горного хрусталя. Околожильные изменения развиты интенсивно, характерно проявление всех стадий гидротермального метаморфизма (см. табл. 2).

Штокверки и штокверкообразные тела вместе с линейными жильными зонами составляют подавляющее большинство крупных хрусталеносных объектов. В плане эти тела имеют изометричные, неправильные, иногда вытянутые формы; размеры от 15×25 до 35×70, редко до 50×200 м; на глубину прослеживаются от первых десятков до 50—80 м.

Гидротермальные изменения вмещающих пород на месторождениях различных структурно-морфологических типов

Вмещающие породы	Стадии гидротермального изменения					
	пропитатизация	окварцевание	выщелачивание и перекристаллизация	кальцитизация	альбитизация	каолинизация и аргиллитизация
Линейные жильные зоны	Развита на узких участках	Характерно для всех месторождений	Более развита перекристаллизация	На отдельных участках интенсивна	На отдельных участках интенсивна	Характерны для всех месторождений
Жильные зоны сложной конфигурации	Интенсивна	То же	Интенсивны	Интенсивна	Интенсивна	То же
Штокверки и штокверкообразные тела	Очень интенсивна	" "	Очень интенсивны	Очень интенсивна	Очень интенсивна	" "
Столбообразные тела	Отсутствует или отмечаются отдельные ее элементы (хлоритизация и эпидотизация)	" "	Выщелачивание не характерно	Отмечается сравнительно редко	Не характерна	" "

Характерной особенностью локализации штокверков является широкое развитие в их пределах даек гранит-пегматитов. Амфиболиты отсутствуют или представлены секущими единичными мощными дайками. В редких случаях мощные пологопадающие тела амфиболитов экранируют хрусталеносную минерализацию.

Штокверки содержат до нескольких десятков крупных наложенных и многочисленных мелких гнезда с кристаллами кварца, образуя крупные месторождения этого сырья.

Околожильные гидротермальные изменения проявлены наиболее интенсивно и широко по сравнению с рассмотренным выше структурно-морфологическим типом (см. табл. 2).

Столбообразные тела в пределах провинции распространены незначительно. Они локализуются, как правило, на пересечении трещин напластования кварцитов и субширотных крутопадающих трещин. У поверхности столбообразные тела имеют линзовидную форму и размеры до 3×8 м; на глубине они приобретают изометрические очертания и здесь ярко проявляется контролирующая роль доминерализованных разрывных крутопадающих нарушений [5].

Столбообразные тела сложены кварцем шестоватой текстуры. К всяким бокам этих тел приурочены единичные, но крупные полости с большим количеством очень чистых кристаллов кварца.

ца. Контакты с вмещающими породами резкие, вдоль них наблюдаются незначительные изменения, чаще всего перекристаллизация кварцитов (см. табл. 2).

Из описания главных черт основных структурно-морфологических типов хрусталеносных тел очевидно, что каждый из них отличается совершенно определенными геолого-структурными условиями локализации, а также характером проявления гидротермального метаморфизма во вмещающих породах.

Гранит-пегматитовые и пегматитовые дайки, широко развитые в пределах штокверков, являются неотъемлемыми и обязательными элементами их внутреннего строения. Количество даек заметно меньше в жильных зонах сложной конфигурации, и они лишь частично обуславливают особенности внутреннего строения этих зон. Дайки жильных дериватов гранитоидных пород проявлены в основном в нижних, реже в средних горизонтах линейных жильных зон и не играют существенной роли во внутреннем строении последних. Здесь присутствуют также единичные дайки гранит-аптитов.

Отмеченная закономерность, очевидно, свидетельствует о том, что каждый из структурно-морфологических типов жил формировался на различном удалении от верхней кромки интрузии аляскитовых гранитов, причем в порядке удаленности от интрузии можно составить следующий весьма схематизированный ряд: штокверки → жильные зоны сложной конфигурации → линейные жильные зоны, столбообразные тела.

В этом ряду не нашли отражения простые жилы. Они могли формироваться на уровне любых из отмеченных структурно-морфологических типов при наличии открытых трещин отрыва. По данным Е. М. Лазько (1957 г.), эти жилы формировались в открытых пустотах, в условиях непрерывного поступления сильно перенасыщенных растворов.

Показателем формирования отдельных структурно-морфологических типов хрусталеносных жил на различных глубинах могут служить также другие признаки. В частности, секущие амфиболитовые дайки, которые иногда отмечаются в пределах штокверков, очевидно, являются корнями силлообразных амфиболитовых тел. На более высоких горизонтах земной коры основные породы, за счет которых затем формировались амфиболиты, могли растекаться по трещинам напластования кварцитов и образовывать многоярусные силлообразные тела. Именно эти тела и служили экранами при формировании жильных зон сложной конфигурации. Выше уровня жильных зон сложной конфигурации амфиболиты во внутреннем строении хрусталеносных тел не участвуют. Судя по карте и геологическим разрезам одной классической линейной жильной зоны, амфиболиты здесь подстилают кварциты, вмещающие жилы. Эти геологические данные также говорят в пользу вертикальной зональности при формировании различных структурно-морфологических типов жил.

Из минералогических признаков следует отметить, что в жильном кварце штокверковых тел очень часто, правда, в незначительном количестве встречается высокотемпературный аксессуарный минерал — турмалин. Для жильных зон этот минерал не характерен.

Интересен и тот факт, что на участке локализации штокверковых тел не обнаружены вторичные ореолы ртути, характерные для участков локализации жильных тел других структурно-морфологических типов. Это свидетельствует об отсутствии эндогенных ореолов ртути вокруг штокверковых тел и является достаточно веским доказательством близости интрузивов, так как ореолы легколетучих элементов формируются на некотором удалении от активного магматического очага.

Вертикальная зональность обнаруживается также по развитию стадий гидротермальных изменений вмещающих пород на участках локализации различных структурно-морфологических типов хрусталеносных тел. Во вмещающих штокверки и штокверкообразные тела породах весьма интенсивно проявлены все стадии гидротермального изменения, а на участках локализации жильных зон сложной конфигурации интенсивность этого изменения сравнительно меньшая. В породах, вмещающих линейные жильные зоны, некоторые стадии гидротермальных изменений обнаруживаются только в виде отдельных локальных полос. Здесь, в отличие от двух предыдущих структурно-морфологических типов, процессы выщелачивания не характерны, но широко проявлены процессы перекристаллизации.

Безусловно, представляет интерес определение вертикального размаха надинтрузивной области, в пределах которой формировались различные структурно-морфологические типы жил. Естественно, что речь может идти только о возможном верхнем пределе этой области, так как понятие нижнего ее предела лишено всякого смысла, если учесть, что он (нижний предел) может быть равен и нулю. Ведь немало случаев, когда по разным причинам надинтрузивная полоса аляскитов не сопровождается хрусталеносной минерализацией. Обсуждение этих причин не входит в рамки данной работы.

Многочисленные данные разведки и обработки месторождений горного хрусталя провинции показывают, что наиболее крупные линейные жильные зоны прослеживаются на глубину до 120—130 м. С учетом эродированности верхних горизонтов максимальную протяженность этих тел на глубину можно принять равной 150 м. К такому значению вертикальной протяженности крупных линейных жильных зон приходим также в случае учета эмпирического правила о том, что протяженность жил по падению составляет половину их протяженности по простиранию.

Нижние горизонты линейных жильных зон находятся несколько выше, чем верхние горизонты жильных зон сложной конфигурации. Это определяется тем, что на нижних горизонтах линейных

жильных зон еще не вскрываются амфиболиты — породы, экранящие жильные зоны сложной конфигурации. Пологопадающие пластовые тела амфиболитов на участке локализации линейной жильной зоны залегают на глубине около 150—160 м от дневной поверхности, т. е. висячий контакт ближайшего к дневной поверхности тела амфиболитов находится на 20—30 м ниже места выклинивания жильной зоны по падению.

Наиболее протяженная на глубину жильная зона сложной конфигурации в настоящее время вскрыта горными выработками на глубину 60 м от дневной поверхности. Многочисленные факты говорят о том, что хрусталеносная минерализация здесь прослеживается до глубины около 100 м.

Если учесть, что верхние горизонты этой зоны весьма слабо эродированы, то общую протяженность ее на глубину, вероятно, можно оценить в 100—110 м.

Хрусталеносная минерализация наиболее крупного и уже отработанного штокверка провинции прослеживается до глубины 85 м. Следует отметить, что штокверк очень слабо эродирован, так как в его западной части сохранились экранящие породы в виде мощного покрова амфиболитов. С учетом небольшой эродированности штокверка размах хрусталеносной минерализации по вертикали можно принять не более 90—100 м.

Таким образом, вертикальный размах хрусталеносной минерализации, точнее вертикальный размах надинтрузивной области, в пределах которой локализуются хрусталеносные кварцевые жилы, с учетом суммарной мощности межпластовых амфиболитовых тел не превышает 450—500 м. Исходя из этого надинтрузивная область, в пределах которой формируются хрусталеносные кварцевые жилы, может быть грубо разделена на три зоны (рис. 6).

1. Нижняя зона, характеризующаяся развитием хрусталеносных штокверков, наличием большого количества даек гранит-пегматитов и пегматитов, а также гранитов. Нижняя граница зоны определяется уровнем выклинивания штокверков, а верхняя — уровнем лежачего контакта первого снизу пластообразного тела амфиболитов. Вертикальный размах зоны около 100—110 м.

2. Средняя надинтрузивная зона соответствует уровню формирования жильных зон сложной конфигурации. Протяженность этой зоны определяется вертикальным размахом развития многоярусных пологопадающих тел амфиболитов. Эта зона характеризуется наличием все еще достаточно большого количества гранит-пегматитовых и пегматитовых даек. Размах зоны по вертикали около 190—200 м.

3. Верхняя (или удаленная) зона соответствует уровню развития линейных жильных зон и столбообразных тел. Нижняя граница зоны определяется уровнем висячего контакта первого сверху пологопадающего тела амфиболитов, а верхняя, в настоящее время в большинстве случаев уничтоженная эрозией, совпадает с уровнем выклинивания линейных жильных зон по восстанию.

Характерной особенностью этой зоны является отсутствие амфиболитовых тел и относительно небольшое по сравнению с предыдущими зонами развитие гранит-пегматитовых и пегматитовых даек, а также наличие единичных даек гранит-аплитов. Вертикальный размах зоны около 150—180 м.

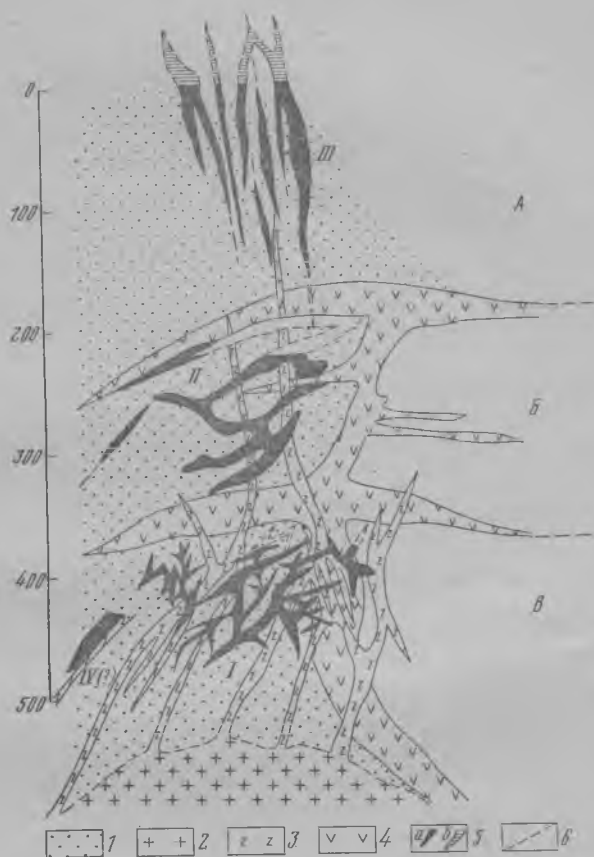


Рис. 6. Схема вертикальной зональности надинтрузивной области локализации хрусталеносных жил: 1 — кварциты; 2 — граниты; 3 — пегматиты; 4 — амфиболиты; 5 — жильные тела: а — сохранившиеся, б — эродированные; 6 — условная граница верхней кромки интрузии аляскинтов; I — штокверки и штокверкообразные тела; II — жильные зоны сложной конфигурации; III — линейные жильные зоны; IV — столбообразные тела. Надинтрузивные зоны: А — верхняя, Б — средняя, В — нижняя

Выделенные зоны связаны постепенными переходами, и об их границах можно говорить условно, с учетом геологических факторов локализации хрусталеносных жил. Постепенные переходы между зонами и обуславливают формирование промежуточных структурно-морфологических типов жильных тел.

Вопрос о существовании вертикальной зональности в локализации хрусталеносной минерализации требует дальнейших специальных исследований. Быть может, стратиграфо-литологические исследования, особенно детальная корреляция немых толщ кварцитов Алдана (если подобная корреляция вообще окажется возможной), прольют свет на этот вопрос.

В данной работе мы решились коснуться этого весьма дискуссионного вопроса в связи с тем, что выдвинутые здесь положения имеют прикладное значение. Их следует учитывать при прогнозировании возможности обнаружения различных структурно-морфологических типов хрусталеносных жил, определении поисковой сети и сети геохимических поисков по ореолам рассеяния и при интерпретации геохимических аномалий.

ГЛАВА II

ПОИСКИ, РАЗВЕДКА И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ ПАМИРА

Наиболее распространенным методом оценки перспективности месторождений полезных ископаемых является метод аналогий. Располагая сведениями о некоторой группе месторождений, уже получивших оценку, геолог формирует набор признаков, характерных для этой группы. Если значения признаков у оцениваемого объекта и у объектов, играющих роль образцов, совпадают, выносится заключение о перспективности исследуемого объекта. При этом выбор определенной совокупности признаков, считающейся типичной, зависит от опыта исследователя и поэтому в значительной мере субъективен. Очевидно, надежность выводов при таком методе оценки возрастет, если учитывать не один набор признаков, а все возможные. Роль характерных наборов признаков играют тупиковые тесты и тесторы.

Особенности геологического строения месторождений могут быть описаны необходимым количеством признаков и их сочетанием. Известно, что набор признаков зависит от степени изученности объектов. Однако можно выделить районы (эталон), для которых некоторая совокупность признаков будет наиболее полной. Такой набор признаков служит логическим основанием для сравнения любого месторождения с эталонным, если для определенного района будет выполнен набор отождествляющих признаков. Сравнение не может проводиться методами вариационной статистики, поскольку все геологические признаки функционально связаны, количество объектов незначительно, а число признаков, характеризующих объекты, велико. В связи с этим необходимо применять методы, позволяющие в наибольшей степени использовать информацию о каждом объекте, описанном большим числом признаков.

Месторождения Памирской провинции довольно резко отличаются от объектов других регионов СССР и зарубежных стран.

Своеобразие геологического строения и особенности их формирования свидетельствуют о том, что для прогнозирования в этом регионе целесообразно применять в качестве эталонов для сравнения с неизвестными площадями или выявленными в результате поисковых работ хрусталепроявлениями хорошо изученные условно-промышленные месторождения Памира.

Алгоритмы «Голосование по тесторам» [12, 13] были использованы для оценки хрусталепроявлений в Памирской провинции.

Каждый объект описывался по следующей системе признаков: 1) приуроченность оруденения к кварцито-песчаникам и кварцитам протерозоя; 2) локализация хрусталеносных жил среди гранитов, гнейсо-гранитов и гнейсов; 3) вмещающие породы — известняки, мраморы; 4) наличие прослоев или горизонтов сланцев, играющих роль экрана; 5) приуроченность хрусталеносных жил к пологим крыльям антиклиналей; 6) приуроченность хрусталеносных жил к крутым крыльям антиклиналей; 7) расположение объекта относительно нарушений второго порядка (1 — близко, в 2 км и менее, 0 — далеко); 8) расположение объекта относительно нарушений третьего порядка (1 — близко, в 2 км и менее, 0 — далеко); 9) пересечение нарушений второго порядка с нарушениями более высоких порядков; 10) пересечение нарушений третьего порядка с нарушениями более высоких порядков; 11) падение рудоконтролирующих разрывов крутое (1 — более 30° , 0 — пологое); 12) узлы пересечения тектонических разрывов; 13) северо-восточное простирание рудоконтролирующих нарушений; 14) субширотное простирание разрывных нарушений; 15) субмеридиональное простирание разрывных рудоконтролирующих нарушений; 16) северо-западное простирание разрывных рудоконтролирующих нарушений; 17) интенсивность развития мелких тектонических нарушений (1 — в пределах объекта развито два и более тектонических нарушений, 0 — отсутствие или слабое развитие); 18) углы падения тектонических нарушений (1 — угол падения более 30° , 0 — угол падения менее 30°); 19) объект расположен в эндо- или экзоконтакте гранитного массива, на расстоянии до 1 км в ту или другую сторону от линии контакта; 20) наличие гранитов главной интрузивной фазы; 21) в пределах объекта болес одной петрографической разновидности гранитов; 22) граниты гибридные (контаминированные) или порфиroidные; 23) ксенолиты кристаллических сланцев в гранитах; 24) наличие даек или штоков кислых пород; 25) в жильной серии аплиты и аплит-пегматиты; 26) интенсивное развитие процессов серицитизации вмещающих пород (1 — есть, 0 — нет); 27) вмещающие породы слабо изменены процессами гидротермального метаморфизма (табл. 3).

При описании объектов названные признаки считались характеризующими объект, если они были развиты в пределах квадрата со стороной 2 км, причем в центре этого квадрата размещалось изучаемое месторождение.

Кодовая таблица признаков для месторождений Памира

Номера месторождений	Класс	Признаки																											
		1	2	3	4	5	6	7*	8*	9	10	11	12	13	14	15	16	17*	18*	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	2	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	3	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	3	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	2	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	3	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	3	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	3	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	3	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	3	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* Значения признаков приведены в тексте

** Признак присутствует.

*** Признак отсутствует.

В нашем распоряжении имелось описание трех условно-промышленных месторождений (первый класс), шести рудопроявлений (второй класс) и 13 объектов, перспективность которых не ясна. Ставилась задача, используя алгоритмы «Голосование по тесторам», оценить относительную значимость каждого признака при описании объектов. Кроме того, необходимо было предложить некоторые правила для оценки новых рудопроявлений, основанные на использовании выявленных особенностей логических связей между большим числом признаков, характерных для представителей первого и второго классов.

В табл. 3 выделены отождествляющие признаки, которые одновременно присутствовали или отсутствовали во всех эталонах (строках). С эталонами сравнивались лишь те объекты, для которых все отождествляющие признаки выполнены не менее чем на 20% (формальный тип по данной группе признаков). После этого из таблицы удалялись столбцы, заполненные только единицами, нулями или прочерками. В результате получена допустимая таблица.

Дальнейший этап обработки данных заключался в выделении тупиковых тесторов (максимальных кодов таблицы).

Информационные веса признаков по их численным значениям разделились на довольно четкие группы. Наибольшим информационным весом обладает признак 19 (316 голосов из 758 тупиковых тесторов); в принятой системе кодирования ему будет отвечать признак — расположение объекта в эндо- и экзоконтакте гранитного массива (табл. 4).

Таблица 4

Число признаков, участвующих в тесторах признаков для проявлений горного хрусталя Памира (758 тесторов)

Признаки	Число голосов	Признаки	Число голосов
x_1	226	x_{14}	177
x_2	62	x_{15}	135
x_3	65	x_{16}	0
x_4	132	x_{17}	237
x_5	146	x_{18}	33
x_6	185	x_{19}	316
x_7	100	x_{20}	0
x_8	101	x_{21}	283
x_9	127	x_{22}	194
x_{10}	163	x_{23}	181
x_{11}	128	x_{24}	65
x_{12}	129	x_{25}	33
x_{13}	100	x_{26}	225
		x_{27}	62

Следующими по значению выделяются признаки: x_{21} — развитие в пределах объектов более одной петрографической разности пород (283 голоса); x_{17} — интенсивное развитие мелких тектони-

ческих нарушений (237); x_1 — приуроченность хрусталеносных жил к кварцито-песчаникам и кварцитам (226); x_{26} — развитие процессов серицитизации вмещающих пород (225). Сведения об этих признаках, очевидно, желательно получать в первую очередь при подготовке поисково-оценочных работ в пределах изучаемой территории.

По полученным 758 тупиковым тесторам была определена степень близости новых объектов, не бывших в обучении, к первому и второму классам. К классу условно-промышленных месторождений были отнесены объекты 8 и 11, остальные — к классу рудопроявлений. Следовательно, для дальнейших исследований могут быть рекомендованы в первую очередь объекты 8 и 11, которые по геолого-структурным характеристикам более всего сходны с условно-промышленными объектами и расположены в пределах крупного хрусталеносного поля вблизи перспективных месторождений.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ КВАРЦА

Месторождения горного хрусталя Восточной Сибири располагаются в западной части Алданского кристаллического щита и приурочены к кварцитам верхнеалданской свиты иенгурской серии архея [5, 29, 56]. Месторождения тяготеют к тем участкам кварцитов, где они прорываются аляскистыми гранитами или их жильными дериватами. В кварцитах встречаются также многочисленные секущие и согласные тела амфиболитов, образованных в результате регионального метаморфизма пород основного состава. Согласные пологопадающие тела амфиболитов в некоторых случаях экранируют хрусталеносные кварцевые жилы.

Морфология хрусталеносных зон отличается большим многообразием. Учитывая данные В. И. Бергера [5] и Г. Б. Митича [62], Л. В. Оганесян предложил следующую структурно-морфологическую классификацию хрусталеносных месторождений: 1) плитообразные и лизообразные простые жилы; 2) жильные зоны линейной и сложной конфигурации; 3) штокверки и штокверкообразные тела. Наиболее широко распространены жильные зоны линейной и сложной конфигурации.

Несмотря на то что наиболее интересные в практическом отношении месторождения представлены жильными зонами, а в недалеком прошлом имели также значение штокверки, производить оценку хрусталепроявлений по морфологическим признакам невозможно, так как даже в пределах одного морфологического типа жил встречаются хрусталеносные и почти не содержащие горного хрусталя объекты. Также не представляется возможным оценивать хрусталепроявления по гипсомегрическим уровням выходов кварцевых жил на поверхность: хрусталеносные и слабо хруста-

леносные жилы с сырьем плохого качества вскрываются как на близких, так и на значительно различающихся абсолютных отметках.

Вертикальный размах оруденения в различных месторождениях также колеблется в широких пределах: например, в сложных жильных зонах он иногда не достигает 100 м, а в других случаях превышает 150 м.

Результаты изучения газовой-жидких включений в кристаллах кварца рассматриваются во многих работах [29, 44, 55 и др.]. Эти работы посвящены главным образом определению температур минералообразования по температурам гомогенизации содержимого вакуолей. Были сделаны выводы о существующей на отдельных месторождениях вертикальной зональности, выражающейся в повышении температур кристаллизации с глубиной, хотя, судя по приводимому фактическому материалу, в некоторых случаях следовало бы, наоборот, говорить о повышении температур гомогенизации включений в кварце верхних горизонтов [56]. Присутствие вместе с газовой-жидкими большого количества газовых включений некоторые авторы [56] принимали за свидетельство близкого магматического источника растворов. Полученные разными исследователями данные по температурным режимам хрусталеносного образования, несмотря на несомненный интерес и представительность, не всегда согласуются. По-видимому, это обусловлено неточным определением степени сингенетичности кристаллов и включений, а кроме того тем, что совершенно не учитывалась возможность изменения температур гомогенизации включений за счет других факторов, не связанных с колебаниями температур роста кристаллов [91].

Нами детально изучены включения в кристаллах кварца хрусталеносных месторождений, относящихся к различным структурно-морфологическим типам, верхние части которых вскрываются на разных гипсометрических уровнях (табл. 5). Из общего коли-

Таблица 5

Высотные отметки выходов минерализованных зон на поверхность и вертикальный размах хрусталеносной минерализации

Показатели	Номера объектов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Абсолютные отметки, м	570	600	760	700	740	620	543	530
Прослеженный вертикальный размах хрусталеносной минерализации, м	30	120	60	150	—	—	—	—

чества (8) изученных месторождений четыре эксплуатировались или продолжают разрабатываться и разведываться, другие четыре отличаются низким качеством и малым содержанием горного хрусталя. Как видно из табл. 5, установленный к настоящему вре-

мени вертикальный размах хрусталеносной минерализации на ценных в промышленном отношении объектах колеблется от 30 до 150 м; это позволило отобрать образцы кварца для исследований на сравнительно больших расстояниях по падению жильных зон. Кроме того, большое количество материала дало возможность отобрать для исследований кристаллы кварца с фантазмами только в центральных, и только в периферийных зонах роста, что исключало ошибки в определении сингенетичности включений и минерала-хозяина [26].

В периферических частях кристаллов всех месторождений представляют интерес и первичные, и вторичные включения. Первые газовой-жидкие с содержанием газовой фазы от 10 до 15%. Температуры их гомогенизации колеблются от 180 до 220°С, причем каких-либо закономерностей в изменении этих температур по простиранию и падению хрусталеносных зон не отмечается.

Вторичные включения весьма широко распространены в кристаллах кварца. Они бывают трех типов: газовые, с объемом заполнения вакуолей газовой фазой от 60 до 90%; газовой-жидкие двухфазовые, с крайне непостоянным соотношением фаз жидкость — газ; трехфазовые, в которых кроме солевого раствора и газового пузырька присутствует жидкая углекислота, занимающая от 10 до 80% объема вакуолей. Присутствие вторичных газовых и углекислородных включений преимущественно в периферических частях кристаллов отнюдь не является показателем близости родоначального магматического очага, как предполагал Е. М. Лазько [56]. Изучение включений в искусственных кристаллах с известными условиями образования [91] показало, что появление газовых и газовой-жидких включений с непостоянным соотношением фаз связано с резким изменением условий кристаллизации. Можно предполагать, что в конце процесса хрусталеобразования происходило вскипание кварцобразующих растворов, вызванное разгерметизацией камер кристаллизации под влиянием тектонических подвижек и связанным с этим резким падением давления. Активизация тектонических движений на заключительных этапах роста кристаллов кварца подтверждается их нередким дроблением, появлением поздних трещин, залеченных затем мелкозернистым кварцем, дорастанием ранее обломанных кристаллов и т. д.

Отметим, что вторичные газовые и углекислородные включения мало пригодны для восстановления температурного режима хрусталеобразования; они образованы уже за счет консервации гетерогенных растворов меняющейся плотности, с чем и связано непостоянное соотношение фаз в вакуолях. Однако присутствие вторичных газовых и углекислородных включений является показателем низкого качества кристаллов, и изучение их может дать дополнительные критерии оценки того или иного участка месторождения.

В некоторых хрусталеносных зонах сложной конфигурации обильные вторичные газовые и углекислородные включения весь-

ма характерны для верхних частей месторождений, а ниже по падению прослеживаются наиболее ценные по содержанию и качеству горного хрустала участки жил. Следовательно, обилие в кварце газовых и углекисловодных вторичных включений может являться показателем невысокого уровня эрозионного среза, вскрывающего лишь верхние части месторождения, и возможности прослеживания минерализации на глубину.

На месторождении 1 (табл. 6), где вертикальный размах оруденения был небольшой и оно уже выработано, указанного соче-

Таблица 6

Изменение с глубиной температур гомогенизации включений в кварце различных месторождений

Абсолютные отметки, м	Температуры гомогенизации включений в кристаллах кварца (°С) из месторождений							
	1	2	3	4	5	6	7	8
760	—	—	290*	—	—	—	—	—
740	—	—	300	—	—	—	—	—
720	—	—	290	—	260	—	—	—
700	—	—	—	—	—	—	—	—
680	—	—	—	—	—	—	—	—
660	—	—	—	—	—	260	—	—
640	—	—	—	—	—	—	—	—
620	—	—	—	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—
580	—	290	—	—	—	—	—	—
560	260	—	—	260	—	—	—	—
540	250	270	—	—	—	—	265	—
520	—	—	—	—	—	—	—	—
500	—	250	—	—	—	—	—	—

* Приведенные здесь и далее данные получены при изучении 20—50 первичных включений.

тания газовых и углекисловодных включений в кристаллах кварца не отмечалось. По-видимому, верхние части месторождения были смыты эрозией.

В центральных частях кристаллов всех месторождений встречаются двухфазовые газовой-жидкие первичные включения, в ко-

торых соотношение фаз жидкость — газ и соответственно температуры гомогенизации изменяются по определенным закономерностям (см. табл. 6). Так, для всех промышленных месторождений (1—4, табл. 6) отчетливо проявляется увеличение температуры гомогенизации включений от нижних горизонтов к верхним. Соответственно увеличиваются и объемы газовых пузырьков во включениях от 17—20 до 30—35%. Это позволяет предполагать, что изменение температур гомогенизации включений происходит не за счет повышения температуры растворов по мере удаления от родоначального источника, а как и при формировании вторичных включений, связано с падением давления и понижением плотности растворов при их проникновении в верхние более трещиноватые зоны.

Как видно из табл. 6, максимальная температура гомогенизации первичных включений в центральных зонах кристаллов кварца из верхних горизонтов двух промышленных месторождений составляет 290—300°С, а для одного достигает 320°С. В кристаллах из выработанного месторождения 1 с небольшим вертикальным размахом минерализации такие температуры гомогенизации включений не отмечаются. Не наблюдались они и для включений в кварце четырех месторождений с бедным содержанием полезного компонента и низким качеством сырья (5—8, табл. 6). Следовательно, высокие (290—300°С и более) температуры гомогенизации первичных включений в центральных частях кристаллов кварца, как и обилие газовых и углекисловодных вторичных включений в их периферийных частях, указывают на низкий уровень эрозионного среза, на то, что вскрыты верхние части месторождения.

В двух первых месторождениях горными выработками вскрыты их нижние продуктивные части, и здесь отмечаются наиболее низкие температуры гомогенизации первичных включений в центральных частях кристаллов кварца (250°С). Близки или равны этой величине температуры гомогенизации включений в кристаллах кварца из четырех изученных неперспективных месторождений.

Если считать температуры гомогенизации первичных включений, составляющие примерно 250°С, характерными для кристаллов из самых глубоких частей месторождения, ниже которых трудно ожидать промышленной минерализации, то месторождения 3 и 4 еще не доразведаны. Исходя из рассчитанных средних величин падения температур гомогенизации с глубиной, можно предполагать, что хрусталеносная минерализация на месторождении 3 может быть прослежена еще на 40—60 м, а на месторождении 4 — на 20—30 м.

Таким образом, изучение включений в кристаллах кварца может способствовать определению глубины эрозионного среза хрусталеносных месторождений и оценке их перспективности.

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ
ХРУСТАЛЕННОСТИ ЖИЛЬНЫХ ПОЛЕЙ
НА СТАДИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ**

На стадии поисковых работ перспективы хрусталености отдельных кварцевых жил можно оценить по наличию прямых и косвенных признаков хрусталености [17, 94]. Эти признаки не имеют количественного выражения, однако установить, какая из обнаруженных жил более перспективная, обычно нетрудно. Значительно сложнее оценить перспективы хрусталености жильных полей, представленных большим количеством кварцевых жил, обладающих различными по значимости признаками хрусталености. Существует метод балльной оценки поисковых признаков [95], однако при использовании этого метода затруднено определение значимости различных признаков. Предлагаемый нами метод позволяет по наличию признаков хрусталености рассчитать вероятное количество продуктивных жил (т. е. жил с кондиционными кристаллами горного хрусталя) в пределах опоскованных жильных полей. Сущность его заключается в следующем.

1. По результатам разведки аналогичных жил, имевших различные признаки хрусталености, определяется вероятность выявления продуктивных жил (P_i)

$$P_i = \frac{n_i}{N_i}, \quad (1)$$

где n_i — количество разведанных жил с i -тым признаком хрусталености; N_i — количество продуктивных жил, выявленных при оценке этих жил.

2. По наличию признаков хрусталености в выявленных кварцевых жилах и ореолах их рассеяния (развалах) оценивается средняя вероятность выявления продуктивных жил в пределах жильного поля ($P_{\text{ср}}$)

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum n'_i P_i}{\sum n'_i}, \quad (2)$$

где n'_i — количество жил (развалов) с i -тым признаком хрусталености; P_i — вероятность выявления продуктивных жил, рассчитанная по (1).

3. Определяется число продуктивных жил ($N_{\text{ж}}$), ожидаемых в результате разведки выявленных в пределах поля жил и развалов ($N_{\text{р}}$) по формуле

$$N_{\text{ж}} = N_{\text{р}} \cdot P_{\text{ср}}. \quad (3)$$

Полученная оценка ожидаемого числа продуктивных жил является количественным выражением степени перспективности жильного поля.

Рассмотрим пример применения предлагаемой методики для оценки перспектив жильных полей одного из районов Южной Яку-

тии Хрусталеносные кварцевые жилы здесь приурочены к формации архейских кварцитов иенгрской серии и имеют тесную генетическую связь с верхнеархейскими аляскистыми гранитами. Эти жилы представляют собой единую однотипную группу геологических объектов [89], что позволяет использовать данные геологических наблюдений по разведанным жилам для прогнозной оценки выявленных при поисках слабо изученных жил, обладающих одинаковыми признаками хрусталеносности. Эту оценку можно произвести по двум группам признаков хрусталеносности: I — признаки, характеризующие структуру жильного кварца, II — признаки, характеризующие степень совершенства встреченных кристаллов кварца. Ориентированный рост кварца в форме шестоватых и друзовых агрегатов предшествует образованию кристаллов горного хрусталя. Следовательно, выделенные группы признаков взаимосвязаны и получаемые по ним оценки перспектив поля являются дублирующими.

Вероятности выявления продуктивных жил при разведке жил и развалов с различными признаками хрусталеносности, рассчитанные по 325 жилам района, приведены в табл. 7. При расчете

Таблица 7

Вероятность выявления продуктивных жил

Признаки хрусталеносности	P_i
I группа — структура жильного кварца:	
массивный, равномернoзернистый	0,03
мелкошестоватый	0,14
крупношестоватый	0,25
друзовидный	0,31
II группа — степень совершенства кристаллов:	
непрозрачные	0,13
полупрозрачные	0,18
прозрачные в головках	0,25
прозрачные	0,27
кондиционные	1,00

учитывались высшие значения признаков. Так, если в жиле присутствуют прозрачные и непрозрачные кристаллы кварца, она относится к числу жил с прозрачными кристаллами.

Результаты расчета средней вероятности выявления продуктивных жил и ожидаемое их число по 31 жильному полю района приведены в табл. 8.

Из приведенных в табл. 8 данных видно, что средние вероятности выявления продуктивных жил в жильных полях изменяются в широких пределах (от 0,138 до 0,239). В то же время значения вероятностей, рассчитанные для одного и того же поля по двум группам признаков, оказываются в подавляющем большинстве случаев весьма близкими. Это указывает, что оценка вероятности

Расчет средней вероятности выявления продуктивных жил

Номера жилых полей	Число жил и развалов	I группа	II группа	Среднее значение	Ожидаемое число продук- тивных жил
1	32	0,146	0,149	0,148	5
2	25	0,170	0,172	0,171	4
3	44	0,165	0,186	0,176	8
4	51	0,165	0,153	0,159	8
5	48	0,150	0,183	0,167	8
6	40	0,178	0,186	0,182	7
7	26	0,177	0,165	0,171	4
8	36	0,144	0,156	0,155	5
9	21	0,160	0,244	0,202	4
10	43	0,140	0,124	0,132	6
11	48	0,136	0,134	0,135	6
12	22	0,138	0,152	0,145	3
13	53	0,164	0,180	0,172	9
14	37	0,162	0,116	0,139	5
15	30	0,135	0,202	0,168	5
16	34	0,238	0,239	0,239	8
17	45	0,220	0,194	0,207	9
18	21	0,163	0,189	0,176	4
19	131	0,216	0,183	0,200	26
20	24	0,261	0,188	0,225	5
21	115	0,262	0,202	0,232	27
22	28	0,161	0,184	0,172	5
23	187	0,284	0,193	0,238	44
24	89	0,163	0,197	0,180	16
25	77	0,251	0,212	0,232	18
26	38	0,226	0,186	0,206	8
27	31	0,214	0,180	0,197	6
28	33	0,198	0,178	0,188	6
29	41	0,154	0,128	0,141	6
30	35	0,186	0,185	0,186	7
31	24	0,137	0,140	0,138	3,

является достаточно надежной, и обе группы признаков примерно равны по информативности.

О точности оценки перспектив жилых полей рассмотренным методом можно судить по результатам сравнения ожидаемого числа жил с фактическим количеством, выявленным в пределах детально разведанных жилых полей (табл. 9). Средняя вероятность выявления жил ($P_{\text{ср}}$) рассчитывалась на основании признаков хрусталеносности, установленных при поисковых работах, т. е. до начала разведки.

Из табл. 9 видно, что погрешности оценки ожидаемого числа продуктивных жил по большинству полей не превысили $\pm 50\%$. Учитывая крайне неравномерный характер распределения хрусталеносной минерализации в жилах, такую точность оценки следует признать вполне удовлетворительной.

Точность оценки перспектив жильных полей

Номера жильных полей	Число разведанных жил	$P_{\text{ср}}$	Число продуктивных жил		Погрешность оценки числа продуктивных жил	
			ожидаемое	фактическое	абсолютная	относительная, %
16	33	0,239	8	6	+2	+33,3
17	29	0,207	6	7	-1	-14,3
19	103	0,200	21	13	+8	+61,5
21	102	0,232	24	23	+1	+4,3
22	24	0,172	4	5	-1	-20,0
23	134	0,238	32	37	-5	-13,5
25	53	0,232	12	8	+4	+50,0
28	27	0,188	5	10	-5	-50,0

Описанный метод может быть применен при оценке перспектив и других видов полезных ископаемых. Необходимым условием для этого является наличие фактических данных, позволяющих определить вероятность выявления рудных тел.

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ
ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ЖИЛ
ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Гидротермальные хрусталеносные жилы Восточной Сибири локализованы в кварцитах верхнеалданской свиты иенгрской серии архея. Хрусталеносность в региональном плане (размещение жильных узлов и полей) контролируется положительными складчатыми структурами первого порядка, в приосевых частях которых обнажаются кварциты верхнеалданской свиты, а также широко развиты аляскиты и их жильные дериваты, с которыми многие исследователи генетически или парагенетически связывают формирование кварцевых жил [53, 89]. Отдельные небольшие локальные участки хрусталеносной минерализации и пространственно сближенные группы жил контролируются складчатыми структурами более высоких порядков, а сами жилы локализуются в трещинных структурах.

Хрусталеносные жилы региона отличаются большим разнообразием морфологических особенностей, обусловленных геологоструктурными условиями их локализации. Фактический материал свидетельствует о том, что гидротермальная хрусталеносная минерализация приурочена к надинтрузивной области аляскитовых гранитов. В порядке удаленности от интрузии прослеживается следующий схематизированный ряд: штокерки → жильные зоны сложной конфигурации → линейные жильные зоны, столбообразные тела. Простые плитообразные и линзообразные жилы могли формироваться на уровне любых из отмеченных структурно-морфологических типов при наличии открытых трещин отрыва.

Ореолы рассеяния хрусталеносных месторождений вообще и гидротермальных хрусталеносных жил Восточной Сибири в частности изучены весьма слабо, поэтому геохимические методы поисков пока не нашли широкого применения в практике геологопоисковых и разведочных работ на горный хрусталь. Теоретически формирование гидротермальных хрусталеносных жил может сопровождаться литохимическими ореолами рассеяния. В частности, эндогенные процессы, в результате которых формировались гидротермальные хрусталеносные жилы, вызвали миграцию и перераспределение химических элементов. Следовательно, есть все основания ожидать наличие положительных или отрицательных геохимических аномалий, а также изменение параметров функций распределения элементов и минералов во вмещающих хрусталеносные жилы породах.

Работы последних лет [23, 24, 28, 68, 70] позволили в некоторой степени пересмотреть взгляды на возможность применения геохимических методов при поисках месторождений горного хрусталя.

Методика изучения ореолов рассеяния

Эндогенные ореолы изучались путем опробования вмещающих хрусталеносные жилы пород. Пробы отбирались методом пунктирной борозды по горным выработкам, расположенным вкрест простирания жильных тел. В одну пробу массой 150—200 г входило 5—6 кусков породы, по возможности равномерно расположенных в указанном выше интервале. Шаг опробования (2—5 м) уменьшался при приближении к жильным телам и увеличивался при удалении от них.

При изучении вторичных ореолов рассеяния пробы отбирались по профилям, в большинстве случаев расположенным вкрест простирания хрусталеносных тел. Шаг опробования по профилю составлял 5—10 м на участках локализации жил и 20—30 м — в удалении от них. В пробу массой 100—150 г отбиралась мелкая фракция (≤ 5 мм) элювиально-делювиальных отложений площади в несколько квадратных метров. В случае опробования рыхлых новообразований участка несколькими профилями расстояние между ними составляло 100 м.

Элементы-индикаторы выбирались с учетом теоретических и экспериментальных данных о роли элементов-примесей при формировании гидротермальных хрусталеносных жил. Изучение химического состава газовой-жидких включений в кристаллах кварца показывает, что гидротермальные растворы, которые привели к формированию месторождений горного хрусталя, имели хлоридный натриевый и частично калиевый состав [93]. Установлено, что при формировании кварцевых жил и гнезд с кристаллами горного хрусталя во вмещающие породы были принесены такие щелочные элементы, как калий и натрий. Низко- и среднетемпературный характер процессов формирования гидротермальных хруста-

леносных жил мог обуславливать также возможность образования вокруг них ореолов легколетучих элементов, в частности ртути. Исходя из отмеченных представлений, были проведены исследования по выявлению ореолов именно этих элементов.

Расчетными [15, 96] и графическими методами [60] выявлены математические функции, которыми может быть аппроксимировано распределение элементов во вмещающих породах и подсчитаны параметры этих функций. Распределения с той или иной математической функцией аппроксимировались при помощи критериев Пирсона и Колмогорова [15]. Было установлено, что во всех случаях распределение элементов во вмещающих породах хорошо согласуется с нормальным или логнормальным законами.

Нижний уровень вероятных аномальных значений C_a определяется [60] при помощи выражения

$$C_a \geq C_\phi + \frac{3S}{\sqrt{m}}, \quad (1)$$

где C_ϕ — фоновое значение элемента; S — стандартное отклонение; m — количество точек, по которым оконтуривается геохимическая аномалия.

В случае логнормального распределения подсчет значения C_a ведется в логарифмах с последующим антилогарифмированием. С учетом известных свойств логарифмов выражение (1) для случая логнормального распределения может быть преобразовано в виде

$$C_a \geq C_\phi \varepsilon \frac{3}{\sqrt{m}}, \quad (2)$$

где ε — стандартный множитель.

При изучении ореолов рассеяния хрусталеносных жил возможно за аномальные принимать значения, выходящие за пределы двух стандартов при одностороннем ограничении

$$C_a \geq C_\phi + \frac{2S}{\sqrt{m}}. \quad (3)$$

В этом случае вероятность выделения ложных аномалий, обусловленных погрешностями отбора, обработки, анализа проб, а также природной дисперсией фона, увеличивается, так как в односторонний двухсигмовый интервал укладывается 97,72% всех значений нормально (логнормально) распределенной случайной величины, а в односторонний трехсигмовый интервал 99,86%.

Пониженные требования к выделению аномалий объясняются следующими причинами. В пределах хрусталеносных жильных полей, как показали исследования, обычно не обнаруживается такое большое количество геохимических аномалий, как в пределах полей рудных месторождений. Следовательно, вероятность выделения большого количества ложных аномалий, связанных с погрешностью метода и природной дисперсией, резко уменьшается. При

геохимических исследованиях отбирались пробы по единичным профилям (в большинстве случаев один профиль, в редких случаях два-три). Это привело к значительному уменьшению числа оконтуривающих аномалию точек. Можно полагать, что при площадной съемке большинство из выявленных аномалий могут быть прослежены на соседних профилях; это позволит определить нижний уровень аномальных значений при помощи выражения (1). Необходимо отметить, что во всех случаях при наличии большого количества точек с аномально повышенными содержаниями элемента ($m \geq 9$ при одностороннем трехсигмовом и $m \geq 4$ при двухсигмовом ограничении) нижний уровень вероятных аномалий совпадает.

В пределах различных жильных полей и узлов функции распределения элементов-индикаторов во вмещающих породах отличаются друг от друга. Эти различия, с одной стороны, могут быть обусловлены флуктуациями параметров распределения, вызванными неоднородностью участка, погрешностями применяемых методов и другими случайными факторами. С другой стороны, они могут быть вызваны определенными геолого-геохимическими причинами, в частности значительным отличием интенсивности проявления гидротермальных процессов, резким различием геологического строения участков и иными неслучайными обстоятельствами. Чтобы выяснить, существенно ли отличаются функции распределения отдельных элементов на этих участках или эти различия случайны, проводилось статистическое сравнение распределения элементов в пределах различных жильных полей.

Гипотезы о равенстве среднеквадратических отклонений $H_0: S_1^2 = S_2^2$ проверялись при помощи F-критерия Фишера, а гипотезы о равенстве фоновых значений — по их соответствующим оценкам S_f с использованием двойного t-критерия Стьюдента [76, 96].

Функции распределений принимались равными в случае совместного подтверждения обеих упомянутых гипотез при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Эндогенные ореолы хрусталеносных жил

Эндогенные ореолы изучались в пределах двух месторождений. Первое представлено жильной зоной, которая прослеживается по простиранию на 300 м при мощности 5—20, реже 30 м, второе — жильной зоной сложной конфигурации. Выбор этих объектов обусловлен тем, что ко времени проведения исследований они находились в стадии детальной разведки и были вскрыты выработками на различных горизонтах.

Установлено, что хрусталеносные тела сопровождаются положительными геохимическими аномалиями калия, натрия и ртути (табл. 10, 11). Аномально-повышенные значения калия, натрия и ртути наблюдаются соответственно на расстоянии 10—20, 12—13, 15—20 м от жильных тел (рис. 7—9). Ореолы калия часто проявлены только на нижних горизонтах жильных тел. Иногда друг на

Таблица 10

Параметры распределения элементов-индикаторов в коренных породах, вмещающих линейную жильную зону, и нижний уровень вероятных аномалий C_a в зависимости от количества коррелируемых точек m в пределах аномалии

Элементы	Количество наблюдений	Параметры распределения C_a , %					
		C_{ϕ} , %	ε	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$
K	45	0,222	3,54	2,780	1,320	0,956	0,785
Na	54	0,038	3,27	0,408	0,203	0,150	0,125
Hg	56	$29,7 \cdot 10^{-7}$	2,03	$112 \cdot 10^{-7}$	$87 \cdot 10^{-7}$	$67 \cdot 10^{-7}$	$60 \cdot 10^{-7}$

Таблица 11

Некоторые характеристики эндогенного ореола линейной жильной зоны

Элементы	Содержание элемента в ореоле, %		Контрастность ореола		Полуширина ореола, м	
	обычное	максимальное	обычная	максимальная	эффективная	выявленная
K	2—3	4,3—4,5	9,0—13,5	19,4—20,0	2,5—5,0	10—25
Na	0,35—0,50	0,70—0,80	9,2—13,2	18,5—21,1	10	12—13
Hg	$(100—150) \cdot 10^{-7}$	$(160—200) \cdot 10^{-7}$	3,4—5,0	5,4—6,7	5—20	15—25

Примечание. Под контрастностью понимается отношение содержания элемента в ореоле к геохимическому фону.

друга накладываются ореолы натрия близко расположенных тел, в результате образуется широкая аномальная зона, мощность которой во много раз превышает суммарную мощность самих жил (рис. 10). Ореолы ртути широкой полосой окружают жильные тела. Наиболее часто они проявлены на верхних горизонтах жильной зоны. Верхняя кромка этих ореолов («ртутная шапка») на изученных участках уничтожена процессами эрозии и денудации. Аномалии калия, натрия и ртути часто экранируются дорудными разрывными нарушениями или локализируются в пределах зон дробления (рис. 11).

Доказано, что пространственное распределение концентраций химических элементов в эндогенных ореолах, образующихся около граничной плоскости, подчиняется экспоненциальному закону и определяется выражением

$$C_x = C_0 e^{-\lambda x} + C_{\phi}, \quad (4)$$

где C_0 и C_x — соответственно концентрации элемента у граничной плоскости (на контакте с рудным телом) и на расстоянии x по нормали от нее; λ — коэффициент, учитывающий физико-химические свойства горных пород и другие, не подчиняющиеся учету факторы.

На основании выражения (4) был разработан графический способ определения величины $1/\lambda$, т. е. истинной геохимической под-

вижности элементов при формировании эндогенных ореолов [69, 82].

Преобразование функции экспоненты позволяет рассчитать величину $a = \frac{1}{\lambda}$ по следующим формулам:

$$a = \frac{x \lg e}{\lg C_0 - \lg C_x} = \frac{0,43429x}{\lg C_0 - \lg C_x} \quad (5)$$

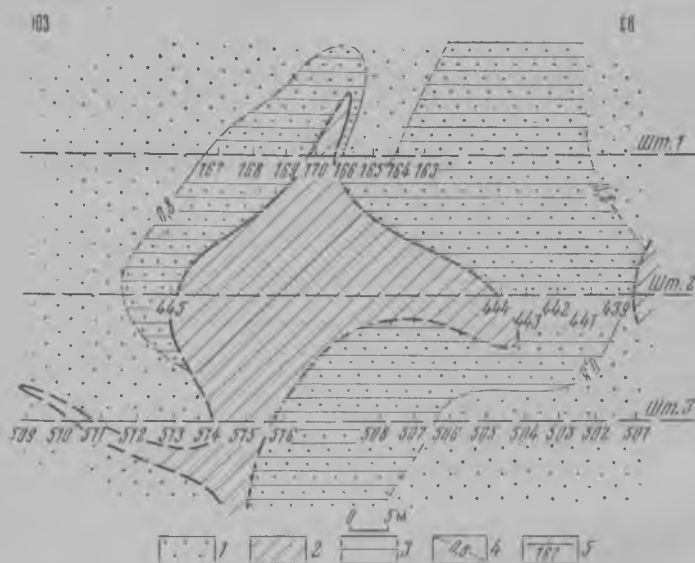


Рис. 7. Эндогенный ореол калия линейной жилой зоны в разрезе

1 — кварциты; 2 — жилищная зона; 3 — ореол рассеяния калия; 4 — изоконцентрация калия, %; 5 — точки отбора проб

Когда вычисления производятся в натуральных логарифмах, выражение (5) принимает более простой вид

$$a = \frac{x}{\ln C_0 - \ln C_x} \quad (6)$$

Данным способом определены значения геохимической подвижности элементов в эндогенных ореолах на различных горизонтах линейной жилой зоны (табл. 12).

Возникает вопрос, можно ли считать уменьшение геохимической подвижности элементов с глубиной существенным или оно носит случайный характер и отражает погрешности методики работ, а также природные вариации распределения элементов.

Для ответа на этот вопрос необходимо провести статистическое сравнение выборок (см. табл. 12). В данном случае количество наблюдений в каждой выборке мало. В связи с этим функция распределения оценивается плохо, что исключает возможность

применения статистических критериев F и t. Следовательно, необходимо воспользоваться непараметрическими критериями, в частности U-критерием Уилкоксона (Манна—Уитни) и χ -критерием Ван-дер-Вардена [96]. Эти критерии относятся к категории ранговых и применение их не требует знания параметров распределе-

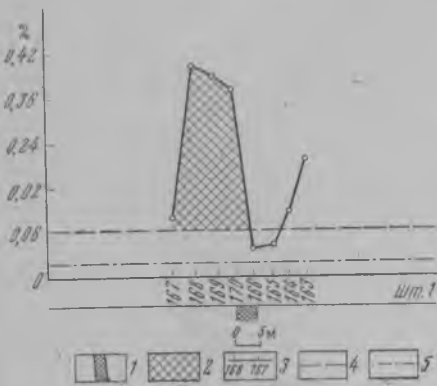


Рис. 8. График содержания натрия во вмещающих породах линейной жилой зоны

1 — жильная зона; 2 — область аномального содержания элемента; 3 — точки отбора проб; 4 — нижний уровень вероятных аномальных значений; 5 — уровень местного геохимического фона

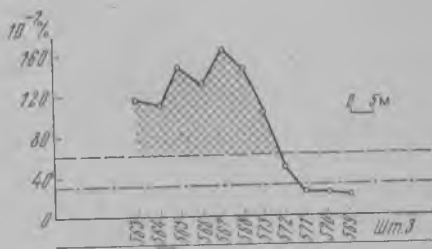


Рис. 9. График содержания ртути во вмещающих породах линейной жилой зоны

Условные обозначения те же, что на рис. 8

ния. χ -критерий Ван-дер-Вардена эффективнее, чем U-критерий Уилкоксона и не уступает t-критерию Стьюдента.

В этом случае задача состоит в сравнении средних значений геохимической подвижности элементов на различных горизонтах эндогенного ореола. Если принять, что моделью геохимической подвижности элементов на одном из горизонтов является случайная величина γ_1 , а на другом — γ_2 , то задача сводится к проверке

Таблица 12

Среднее значение геохимической подвижности калия, натрия и ртути

Элемент	Геохимическая подвижность (в м) по горизонтам							
	I		II		III		Среднее взвешенное по трем горизонтам	
	N^*	a	N	a	N	a	N	a
K	2	1,47	1	1,16	6	1,15	9	1,22
Na	1	16,23	—	—	3	5,98	4	8,54
Hg	5	7,29	18	6,93	10	5,69	33	6,63

* Количество наблюдений.

нулевой гипотезы о том, что обе выборки взяты из генеральной совокупности с одинаковыми непрерывными функциями распределения, т. е. $F(\gamma_1) = F(\gamma_2)$.

Критерий Ван-дер-Вардена [8, 96] определяется выражением

$$\chi = \sum_r \Psi \left(\frac{r}{N_1 + N_2 + 1} \right), \quad (7)$$

где Ψ — значение обратной функции нормированного нормального распределения: r — все ранговые числа первой выборки; N_1, N_2 — объем первой и второй выборки.

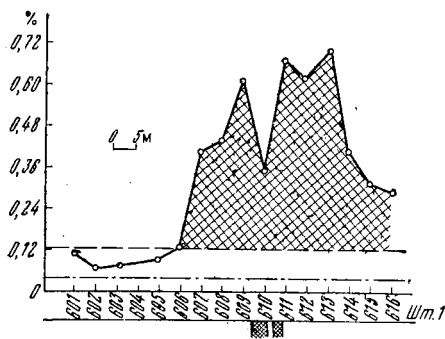
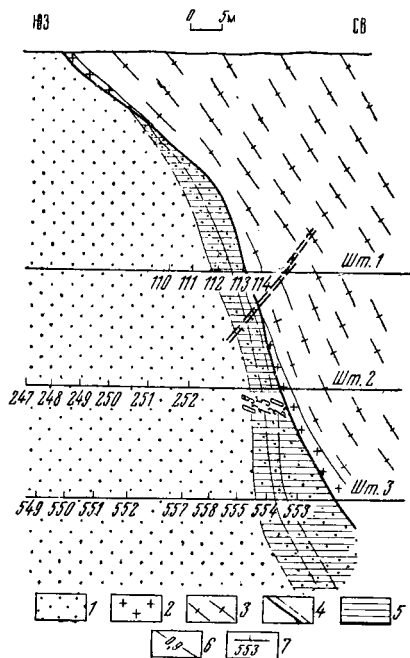


Рис. 10. График содержания натрия во вмещающих породах жильной зоны сложной конфигурации. Условные обозначения те же, что на рис. 8

Рис. 11. Локализация геохимической аномалии калия под экранирующим докварцевым разломом 1 — кварциты; 2 — граниты; 3 — гранито-гнейсы; 4 — тектонические нарушения; 5 — ореол рассеяния калия; 6 — изоконцентрация калия, %; 7 — точки отбора проб



Для проверки правильности подсчета величины χ можно определить значение χ' ;

$$\chi' = \sum_s \Psi \left(\frac{S}{N_1 + N_2 + 1} \right), \quad (8)$$

где S — все ранговые числа второй выборки. Если вычисления выполнены правильно, то $\chi + \chi' = 0$.

Специфика критерия χ позволяет применить одностороннее ограничение, что приводит к вдвое меньшему, чем при двустороннем ограничении, уровню значимости (в нашем случае 0,025).

Сравнение средних значений геохимической подвижности калия, натрия и ртути, подсчитанных для всех трех горизонтов линейной жильной зоны, показывает, что в геохимической обстанов-

ке, приводящей к формированию хрусталеносных жил и их эндогенных ореолов, натрий и ртуть обладают большей подвижностью, чем калий. Следовательно, при прочих равных условиях эти элементы могут образовать более широкие ореолы, чем калий. Подтверждением более высокой подвижности натрия и ртути служит участок жильной зоны сложной конфигурации, где слепые жильные тела, вскрытые на глубине горными выработками, на поверхности отражены ореолами именно этих элементов, а ореолы калия отсутствуют.

Закономерности распределения элементов-индикаторов в эндогенном ореоле по вертикали изучались путем сопоставления средних значений линейной продуктивности элементов на различных горизонтах жильной зоны (табл. 13—15).

Таблица 13

Среднее содержание \bar{C} элементов в эндогенных ореолах

Горизонт	Элементы-индикаторы					
	К		Na		Hg	
	<i>N</i>	\bar{C} , %	<i>N</i>	\bar{C} , %	<i>N</i>	\bar{C} , %
I	10	1,575	7	0,676	16	54,3
II	5	2,620	6	1,060	20	61,5
III	11	2,680	5	1,070	33	118

Таблица 14

Линейная продуктивность эндогенных ореолов

Горизонт	Линейная продуктивность, м %			
	К	Na	Hg	К + Na
I	78,65	23,67	$4394 \cdot 10^{-7}$	102,32
II	63,45	31,76	$6160 \cdot 10^{-7}$	97,21
III	143,79	26,75	$19475 \cdot 10^{-7}$	170,54

Таблица 15

Отношение продуктивности эндогенных ореолов различных элементов

Горизонт	$\frac{K}{Na}$	$\frac{Hg}{Na}$	$\frac{Hg}{K}$	$\frac{Hg}{Na + K}$	Примечание
I	3,2	26,6	8,2	6,3	Подсчет отношений продуктивности выполнен только для тех сечений, по которым во всех пробах проводилось определение К, Na и Hg
II	2,1	59,2	28,7	19,4	
III	5,3	172,0	32,4	27,3	

С целью выявления различий в распределении элементов в эндогенных ореолах сравнение выборок проводилось при помощи χ -критерия Ван-дер-Вардена.

В результате установлена зональность в распределении элементов эндогенного ореола линейной жильной зоны, которая выражается в том, что содержание калия значительно растет между первым и вторым горизонтами, а затем остается постоянным. Содержание ртути существенно не изменяется до второго горизонта, но значительно увеличивается между вторым и третьим горизонтами. Увеличение содержания ртути в этом интервале может служить показателем слабой эродированности жильной зоны. Содержание же натрия во всех трех горизонтах существенно не меняется.

Эти выводы относятся только к зоне эндогенных ореолов от дневной поверхности до третьего штольневых горизонтов. Полная картина зональности ореолов может быть выявлена только после вскрытия и геохимического изучения жильной зоны на более глубоких горизонтах до ее выклинивания.

Выводы

1. Хрусталеносные жилы Восточной Сибири сопровождаются эндогенными ореолами калия, натрия и ртути.
2. Полученные данные о зональности эндогенных ореолов говорят о слабой эродированности линейной жильной зоны.
3. Литохимические методы можно успешно применять для поисков гидротермальных хрусталеносных жил в условиях провинции Восточной Сибири.
4. Успех литохимических методов поисков хрусталеносных жил во многом будет зависеть от правильного комплексирования различных методов геологопоисковой практики и строгого учета геолого-структурных условий района.

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО КОСВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ

Оценка перспективности геологических объектов по косвенным признакам довольно часто применяется при прогнозировании и в практике поисково-разведочных работ. При отсутствии прямых признаков оценка заключается в отнесении объекта по некоторым признакам к одной из групп, различающихся по степени перспективности, и носит вероятностный характер. Эта геолого-экономическая задача может быть сформулирована как определение условной вероятности принадлежности оцениваемого объекта к одной из групп по перспективности при наблюдении у него опреде-

ленного косвенного признака и решена с помощью теоремы гипотез, выражаемой формулой Бейеса [16].

$$P(H_i/A) = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i)P(A/H_i)}, \quad (1)$$

где несовместные гипотезы (H_i) составляют группы по перспективности, а появление некоторого события A соответствует наблюдению у объекта косвенного оценочного признака.

Для случая наблюдения нескольких совместных зависимых событий, т. е. при оценке объекта по комплексу оценочных признаков, зависимых между собой

$$A = \{A_1 A_2 \dots A_m\} = \bigcap_{j=1}^m A_j,$$

формула (1) после подстановки и преобразований примет вид

$$\begin{aligned} P(H_i / \bigcap_{j=1}^m A_j) &= \frac{P(H_i)P(A_1/H_i)P(A_2/H_i A_1) \dots P(A_m/H_i A_1 A_2 \dots A_{m-1})}{\sum_{i=1}^n P(H_i)P(A_1/H_i)P(A_2/H_i A_1) \dots P(A_m/H_i A_1 A_2 \dots A_{m-1})} = \\ &= \frac{P(H_i) \prod_{j=1}^m P(A_j/H_i \bigcap_{k=1}^{j-1} A_k)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) \prod_{j=1}^m P(A_j/H_i \bigcap_{k=1}^{j-1} A_k)} \quad (i=1, 2, \dots, n). \end{aligned} \quad (2)$$

При независимости событий между собой, т. е. при оценке по комплексу независимых оценочных признаков, выражение (2) имеет вид:

$$P(H_i / \bigcap_{j=1}^m A_j) = \frac{P(H_i) \prod_{j=1}^m P(A_j/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) \prod_{j=1}^m P(A_j/H_i)} \quad (i=1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

Рассмотрим применение формул (1), (2), (3) на примере оценки хрусталености слепых пегматитовых тел по результатам, полученным при подсечении пегматита поисковой скважиной.

Методика вероятностно-статистической оценки состоит из подготовительного этапа (сбора и геолого-статистической обработки фактического материала) и этапа собственно разбраковки пегматитопоявлений. Геолого-статистическая обработка заключается в выборе оценочных признаков и вычислении частот встречаемости их для хрусталеносного и нехрусталеносного типов пегматитов.

В качестве оценочных признаков различных генетических типов пегматитов используются разнообразные их параметры или характеристики [20, 33, 75, 83]. К сожалению, такую характеристику, как присутствие полезного компонента или среднее содержание его, широко применяемую при оценке других типов рудопоявлений, для хрусталеносных пегматитов, даже при их детальной раз-

ведке, можно получить в весьма редких случаях. Поэтому в качестве оценочных признаков используются только косвенные, по которым хрусталеносный тип статистически отличается от нехрусталеносного. Операция отбора оценочных признаков сводится к сравнению статистических выборок по исследуемой характеристике для обоих типов пегматитов. Различие эмпирических функций оценивается с помощью статистических критериев, из которых наиболее удобным в нашем случае является критерий согласия Колмогорова — Смирнова [98], так как он применим при небольших объемах выборок, достаточно прост в вычислениях и не ограничен законом распределения признаков. Техника расчета заключается в нахождении наибольшей по абсолютной величине разности между рядами накопленных частостей двух сравниваемых выборок (D_{\max}). Затем определяется величина λ из выражения

$$\lambda = D_{\max} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}},$$

где n_1 и n_2 — объемы сравниваемых выборок. При величине $\lambda \geq 1,36$ (принят 95%-ный уровень значимости [98]) различие можно считать неслучайным и данную характеристику использовать в качестве оценочного признака.

Как показала статистическая проверка (табл. 16), в качестве оценочных признаков для слепых хрусталеносных пегматитов можно взять мощность пегматита, зональность (количество зон), мощность измененных околопегматитовых пород. Не исключена возможность использования таких характеристик, как наличие в пегматитах и околопегматитовых породах сидерита, флюорита и других минералов, количество в них газов CO_2 , H_2 и др., содержание щелочных элементов в полевых шпатах и слюдах, состав газовой-жидких включений, данные по декрепитации и т. д. [10, 36, 37, 42]. Использование большего количества признаков при оценке объектов увеличивает ее достоверность.

Выбор оценочных признаков и вычисление частот встречаемости показаны на четырех системах признаков (мощность, зональность пегматитов, мощность и интенсивность измененных околопегматитовых пород). Сравнение выборок с помощью критерия Колмогорова—Смирнова показало, что в качестве оценочных признаков можно принять только мощность, зональность пегматитов и мощность измененных пород. Безусловные (априорные) вероятности встречи хрусталеносных $P(H)$ и нехрусталеносных $P(\bar{H})$ пегматитов определены по результатам детальной разведки и отработки из выражения $P(H) = \frac{N_1}{N_1 + N_2}$ для хрусталеносного типа и $P(\bar{H}) = \frac{N_2}{N_1 + N_2}$ для нехрусталеносного типа, где N_1 и N_2 — среднее количество хрусталеносных и нехрусталеносных пегматитов на единицу площади.

Оценки условных вероятностей встречи используемых признаков у хрусталеносных пегматитов $P(A_j/H)$ и нехрусталеносных

Выбор оценочных признаков и условные вероятности

Оценочные признаки и интервалы их изменений A_j	Сравнение выборок								Условная вероятность принадлежности пегматита к типу $P(H/A_j)$	
	Хрусталеносные пегматиты (H_1)		Нехрусталеносные пегматиты (H_2)		Разность отклоненных частот D	Критерий согласия χ^2	хрусталеносному пегматиту $P(H_1/A_j)$	нехрусталеносному пегматиту $P(H_2/A_j)$		
	объем n_1	часть $P(A_j/H_1)$	накопленная часть D_1	объем n_2						часть $P(A_j/H_2)$
Мощность пегматита, м	0,1—0,5 0,5—1,0 1,0—2,0 2,0—4,0 > 4,0	{ 0,035 0,071 0,107 0,251 0,336	{ 0,035 0,106 0,213 0,464 1,000	28	{ 0,298 0,189 0,189 0,216 0,108	{ 0,298 0,487 0,676 0,892 1,000	{ 0,263 0,381 0,463 0,428 0,000	1,85	{ 0,03 0,08 0,12 0,22 0,55	{ 0,57 0,92 0,88 0,78 0,45
Зональность (количество зон)	1 2 3 4	{ 0,048 0,333 0,421 0,190	{ 0,048 0,381 0,810 1,000	21	{ 0,257 0,515 0,228	{ 0,257 0,772 1,000	{ 0,200 0,391 0,190 0,000	1,42	{ 0,04 0,14 0,32 ~ 1	{ 0,96 0,86 0,68 ~ 0
Мощность измененных околонегматитовых пород, м	0—1,0 1,0—2,0 2,0—4,0 > 4,0	{ 0,250 0,250 0,238 0,292	{ 0,250 0,500 0,708 1,000	27	{ 0,565 0,302 0,133	{ 0,565 0,867 1,000	{ 0,315 0,367 0,292 0,000	1,42	{ 0,10 0,17 0,28 ~ 1	{ 0,90 0,83 0,72 ~ 0
Интенсивность изменения околонегматитовых пород (усл. ед.)	0 1 2	{ 0,111 0,370 0,519	{ 0,111 0,480 1,000	24	{ 0,323 0,470 0,207	{ 0,323 0,793 1,000	{ 0,212 0,312 0,000	1,06	{ 0,08 0,16 0,38	{ 0,92 0,84 0,62

Примечание. $P(H_1) = 0,2$, $P(H_2) = 0,8$.

$P(A_j/\bar{H})$ определены из эмпирических выборок, а оценки условных вероятностей отнесения пегматитопроявления к хрусталеносным $P(H/A_j)$ и нехрусталеносным $P(\bar{H}/A_j)$ подсчитаны по формуле (1). Сведением вычисленных результатов в таблицы подготовительный этап заканчивается.

Этап разбраковки пегматитопроявлений заключается в замене характеристик (оценочных признаков), наблюдаемых при обнаружении данного проявления, соответствующими величинами оценок вероятностей из заранее подготовленной таблицы (см. табл. 16) или вычислении их и принятии решения (табл. 17).

Заключение о перспективности пегматитопроявления делается в зависимости от величин полученных оценок вероятностей. Пегматитопроявление отбраковывается как неперспективное, если оценка вероятности отнесения его к пегматитам нехрусталеносного типа по комплексу оценочных признаков более 0,95. Величина граничного критерия 0,95 взята произвольно как наиболее часто применяемая в математической статистике. Для различных пегматитовых полей она может быть различной, так как определяется в основном экономическими факторами.

Как уже отмечалось, достоверность оценки увеличивается с увеличением количества используемых оценочных признаков. Это хорошо видно из приведенного примера оценки пегматитопроявлений по данным единичной поисковой скважины (см. табл. 17). Так, использование одного признака при оценке позволяет отбраковать около 30%, двух — 50%, а трех — уже около 60% нехрусталеносных пегматитов.

В табл. 17 вычисление условных вероятностей по двум и трем признакам произведено по формуле (3), так как с помощью парной ранговой корреляции не установлена значимая зависимость их между собой. При строгом подходе к оценочным признакам последние логически должны быть зависимыми ввиду того, что все они связаны с факторами, определяющими перспективность. Но при слабых связях (малых коэффициентах корреляции) и при отсутствии возможности рассчитать достоверные оценки условных вероятностей для всех комбинаций зависимых между собой признаков можно пользоваться ими как независимыми.

ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ПЕГМАТИТОВ

Хрусталеносные, или камерные пегматиты обычно локализуются в гранитных массивах, в их апикальных частях. Отличительной особенностью их является наличие гнезд с крупными кристаллами кварца и других минералов. Для пегматитов характерны изометричная или штоковая формы и сравнительно небольшие размеры (объем тел обычно не превышает 15—20 тыс. м³). Большинство хрусталеносных пегматитов имеет четко выраженное зональное строение. От периферии к центру прослеживаются зоны пись-

Результаты оценки пегматитов

Проявления	Геологическая характеристика (по данным поисковой сводки)			Вероятность принадлежности к нехрусталеносному типу пегматитов по признакам			Закончение о перспективности пегматита		
	Мощность, м A_1	Зональность (количество) A_2	Мощность измененных пород, м A_3	одному					
				$P(H/A_1)$	$P(H/A_2)$	$P(H/A_3)$			
1 (828)	0,2	1	0,8	0,97	0,96	0,90	0,99	—	—
2 (1487)	0,3	1	0,2	0,97	0,96	0,90	0,99	—	—
3 (1578)	0,4	1	0,2	0,97	0,96	0,90	0,99	—	—
4 (915)	0,4	3	0,8	0,97	0,68	0,80	0,95	—	—
5 (1003)	0,5	3	1,5	0,97	0,68	0,83	0,96	—	—
6 (5332)	1,2	2	0,9	0,88	0,86	0,90	0,91	—	—
7 (5335)	2,8	2	3,4	0,78	0,86	0,72	0,84	—	—
8 (5341)	9,7	3	1,3	0,45	0,68	0,83	0,30	—	—
9 (3572)	6,0	2	3,8	0,45	0,86	0,72	0,56	—	—
10 (968)	2,1	1	0,5	0,78	0,96	0,90	0,94	—	—
11 (305)	1,0	3	—	0,92	0,68	—	0,96	—	—
12 (312)	4,8	4	4,7	0,45	~0	~0	~0	—	—
13 (313)	0,6	2	3,5	0,92	0,86	0,72	0,94	—	—
14 (377)	12,7	3	—	0,45	0,68	—	0,30	—	—
15 (314)	2,1	3	0,7	0,78	0,68	0,90	0,65	—	—
16 (345)	3,4	4	3,3	0,78	~0	0,72	~0	—	—
17 (348)	6,8	2	0,2	0,45	0,86	0,90	0,55	—	—
18 (349)	6,0	4	1,9	0,45	~0	0,83	~0	—	—
19 (356)	3,3	3	6,3	0,78	0,68	~0	0,73	—	—
20 (334)	6,9	3	1,3	0,45	0,68	0,83	0,30	—	—

Примечания: + перспективное; — неперспективное; ? — недостаточно данных для оценки (необходима дополнительная информация).

менных гранитов, пегматоидная и полевошпатовая, а также кварцевое ядро. В составе этих зон резко преобладают микроклипертит и кварц, встречаются биотит, топаз, флюорит, ильменит, циркон и другие акцессорные минералы. В формировании пегматитов устанавливается собственно пегматитовый этап и более поздний этап пневматолито-гидротермальных изменений пород, проявленный наиболее четко в хрусталеносных объектах. Изменения пегматита и околопегматитовых пород происходили одновременно с основной стадией хрусталеобразования (стадией формирования гнезд с крупными кристаллами кварца и других минералов), а также в «дорудную» и «послерудную» стадии и под воздействием гипергенных процессов.

Проявления околопегматитовых изменений многообразны (табл. 18). Отдельные виды изменений обычно накладываются друг на друга, образуя зоны и ореолы, которые распространяются на 0,5—5 м от пегматитов и хрусталеносных гнезд, а вдоль трещин — на 25 м и более. Обычно зоны измененных пород локализуются вокруг пегматитов и хрусталеносных гнезд, увеличиваясь по мощности с боков и ниже пегматитовых тел, и имеют крутое склонение. Около хрусталеносных пегматитов широко развиты зоны перекристаллизации и метасоматического замещения, выщелачивания и десиликации, альбитизации и окварцевания, пелитизации и сидерооксидации, сводовой трещиноватости.

Зоны измененных околопегматитовых пород при минералогическом и геохимическом исследовании выделяются в виде геохимических и минералогических эндогенных ореолов, а также геофизических аномалий, контуры которых практически не уходят далеко за пределы визуальных изменений пород.

Геохимическими исследованиями вокруг пегматитов установлено наличие устойчивых и достаточно контрастных первичных ореолов фтора, рубидия, иттрия, иттербия и некоторых других химических элементов. При этом наиболее четко проявлен ореол фтора, который распространяется на 5 м и более от пегматитового тела. Высокие содержания химических элементов в ореолах обычно приурочены к участкам интенсивно измененных околопегматитовых пород.

Изменение околопегматитовых пород на отдельных стадиях сопровождалось обогащением их флюоритом, сидеритом, темноцветными минералами и обеднением ильменитом, цирконом и другими минералами.

Изучение физико-механических свойств околопегматитовых пород показало, что измененные породы отличаются повышенной пористостью, электропроводностью, γ -активностью, пониженной плотностью и магнитной восприимчивостью. В результате этого при геофизических исследованиях измененные околопегматитовые породы и пегматиты выделяются в виде соответствующих геофизических аномалий.

Зоны выщелачивания, трещиноватости, пелитизации и сидерооксидации сопровождаются аномалиями повышенной пористости,

Околопегматитовые изменения гранитов

Характер изменения	Вид изменения	Средняя мощность изменения, м	
		преимущественно диффузионного типа	изменения вдоль трещин
Изменения внешнего облика	Перекристаллизация (образование полосчатых, петельчатых и других текстур, изменение форм и размеров породообразующих минералов)	1—10	10—15
	Десиликация (образование пористых текстур)	0,5—5	10—20
	Сидерооксидация (покраснение полевых шпатов)	1—10	10—30
	Пелитизация (осветление полевых шпатов)	1—10	10—30
Изменения минерального и химического состава	Калишпатизация, микроклинизация	1—15	10—50
	Альбитизация	1—15	5—20
	Обогащение темноцветными минералами	1—10	10—15
	Окварцевание	1—5	5—15
	Флюоритизация	1—5	5—15
	Сидеритизация	1—5	5—10
	Каолинизация	1—5	10—20
	Серцитизация	Неясно	
	Первичные литохимические ореолы Rb, Li, Cs	1—3	5—15
	Первичные литохимические ореолы La, Y, Yb, F	1—3	5—15
Изменения физико-механических свойств	Гидрохимические и радиогидрогеологические ореолы	Десятки метров	
	Газовые ореолы CO ₂ , N ₂ и др.	Неясно	
	Ореолы пропаривания	1—3	5—15
	Сводовая трещиноватость	5—10	
	Аномальное повышение пористости и понижение плотности пород	3—5	—
	Аномальное понижение магнитной восприимчивости	3—5	—
	Аномальное понижение электросопротивления пород и электрической проницаемости	—	—
	Повышение средней радиоактивности пород	3—10	10—20

электропроводности, пониженной плотности, магнитной восприимчивости. Для зоны перекристаллизации и метасоматического замещения характерны аномалии γ -активности.

В пегматитовых полях встречаются также и не связанные с пегматитами слабо измененные породы (грейзенизированные, альбитизированные и т. д.), они занимают большие площади и обычно приурочены к апикальным частям материнских интрузий. Зоны

наиболее интенсивной переработки пород (ощелоченные, окварцованные, пелитизированные и др.) чаще всего развиваются вдоль тектонических нарушений. Эти породы (регионально измененные) по многим признакам сходны с околопегматитовыми и отличаются от них только местоположением в интрузиве и условиями залегания.

На стадии предварительных поисков при оценке пегматитоносности массива большое значение имеет распространенность региональных изменений и соотношение их с околопегматитовыми породами. Например, статистический анализ пегматитоносности 160 гранитных массивов Казахстана показал, что при широком развитии в массиве грейзенов пегматиты отсутствуют и, наоборот, совместно с хрусталеносными пегматитами они встречаются редко. В пределах полей хрусталеносных пегматитов распространены измененные околопегматитовые породы, а регионально измененные породы имеют подчиненное значение. Отсутствие измененных околопегматитовых пород указывает на развитие пегматитов непродуктивного типа. Так, в потенциально хрусталеносных массивах встречаемость интенсивной десицикации пород вблизи пегматитов, альбитизации и сводовой отдельности составляет 45—70%, в то время как в нехрусталеносных массивах приближается к нулю.

Еще большее значение имеют измененные околопегматитовые породы при детальном поиске, а также при оценке и отбраковке пегматитов. По мощности измененных пород, типу и интенсивности их проявления можно отбраковать до 60—80% нехрусталеносных пегматитопроявлений после вскрытия их одиночными горными выработками (табл. 19).

Данные табл. 19 можно использовать при оценке пегматитов по выходам, учитывая как отдельные виды изменений, так и комплексы их наравне с другими оценочными признаками. Расчеты по ряду хрусталеносных пегматитовых тел Украины и Казахстана показали, что при учете диффузионных ореолов эффективный размер объектов поисков увеличивается на 15—25%, а изменений вдоль трещин — в 1,5—2 раза, следовательно, возрастает вероятность обнаружения объектов.

Измененные околопегматитовые породы и пегматиты часто отличаются от неизмененных пород по ряду физических свойств. Это дает возможность использовать для их обнаружения геофизические методы (табл. 20) и получать информацию не только в точке замера, но и на некотором расстоянии от нее, что открывает возможность для поисков слепых хрусталеносных пегматитов по характеру изменений вмещающих пород.

Путем прослеживания зон измененных околопегматитовых пород можно корректировать направление разведочных и добычных работ, определять момент подхода к погребной зоне и своевременно принимать меры предосторожности для сохранения кристаллсырья.

Таблица 19

Встречаемость измененных околпегматитовых пород (Кентский массив)

Вид изменения	Мощность, м	Частота встречаемости изменений в пегматитовом поле, %			Условная вероятность отнесения пегматитов к типу проявлений	
		общая	с хрусталеносными пегматитами	с нехрусталеносными пегматитами	к хрусталеносному типу	к нехрусталеносному типу
Альбитизация прожилково-петельчатая	>3	6	56	1,5	0,74	0,26
	0—3	41	44	41	0,07	0,93
	Нет	53	0	57	~ 0	~ 1,00
Десиликация	>3	6	69	1,0	0,84	0,16
	0—3	23	31	23	0,09	0,91
	Нет	71	0	76	~ 0	~ 1,00
Перекристаллизация и метасоматическое замещение	>3	5	50	1,0	0,79	0,21
	0—3	28	50	27	0,12	0,88
	Нет	67	0	72	~ 0	~ 1,00
Сводовая отдельность	Есть	7	69	2,0	0,72	0,28
	Нет	93	31	98	0,21	0,79
Комплекс измененный	>3	3	31	0	~ 1,00	~ 0
	0—3	10	57	5,0	0,46	0,54
	Нет	87	12	95	~ 0	~ 1,00

Примечания: 1. Частота встречаемости в пегматитовом поле хрусталеносных пегматитов $P(H)=0,07$, нехрусталеносных пегматитов $P(\bar{H})=0,93$.

2. При статистическом анализе использованы данные по детально разведанным и обработанным пегматитовым телам.

Таблица 20

Физические свойства измененных околпегматитовых пород (Коростенский массив)

Породы	Пористость, %		Плотность, г/см ³		Магнитная восприимчивость, 10 ⁻⁶ ед. CGSM		γ-активность, усл. ед.	
	пределы колебания	средняя	пределы колебания	средняя	пределы колебания	средняя	пределы колебания	средняя
Неизменные граниты	0,8—3,0	1,9	2,62—2,70	2,66	80—150	100	10—22	16
Граниты из зоны пелитизации	2,5—5,2	3,5	2,48—2,66	2,60	10—40	20	14—28	19
Граниты из зоны сидерооксидации	2,3—3,1	2,5	2,58—2,64	2,60	10—50	30	17—37	25
Граниты из зоны перекристаллизации и замещения, обогащены темновыми минералами	1,5—4,3	2,5	2,62—2,75	2,69	20—60	40	29—150	52
Пегматит	1,9—9,2	3,0	2,58—2,63	2,61	5—15	10	22—280	78
Граниты и пегматиты из зоны выщелачивания	5,3—24,9	12	1,5—2,6	1,8	5—55	10	43—142	73

Примечание. Данные по одному из участков пегматитового поля. Средние определялись из 15—20 замеров.

В перспективе по типу, величине и интенсивности изменения околосегментитовых пород возможно уточнять оценку запасов объектов, хотя связь величины ореолов и интенсивности изменений пород в них с продуктивностью сложная. Развитие интенсивной гидротермальной переработки пород по трещинам на значительное расстояние скорее указывает на неблагоприятные условия для хрусталеобразования, а маломощные и слабой интенсивности изменения пород в верхней части сегментитового тела, наоборот, — на благоприятную обстановку для формирования кристаллов кварца. Из этого следует, что при оценке важно учитывать не только присутствие или отсутствие измененных пород и их интенсивность, но и условия их залегания, тип изменения и т. д.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ПОИСКОВ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

Термолюминесцентный метод успешно используется для поисков сегментитов и колчеданных руд, а также редких элементов [66, 67, 74]. Нами исследовалась термолюминесценция (ТЛ) вмещающих пород на месторождениях горного хрусталя. ТЛ анализы выполнены на серийном приборе «Термолюм». При исследовании использованы фракции размером 0,2—0,5 мм. Диаметр поверхности пробы составлял 18 мм при одинаковой массе (80—90 мг) и толщине слоя пробы. При этом ошибка измерений термосвечения составляла 2—6%. Нагрев проб от 20 до 400°С производился с одинаковой скоростью в течение 2 мин. Напряжение на ФЭУ составляло в среднем 1100 В. Для ТЛ анализа отбирались пробы из подземных горных выработок, вскрывших в однородных породах (кварцитах) слепые продуктивные тела. Выделяются три группы пород: 1) слабо измененные кварциты (внешняя зона), 2) измененные кварциты (промежуточная зона), 3) внутренняя зона интенсивно измененных пород. Сравнение ТЛ пород из этих зон показало, что кварциты, расположенные в контуре развития кварцевой минерализации, имеют большую интенсивность термолюминесценции ($I_{ТЛ}$), чем те же породы, развитые за пределами месторождений. Изучено 15 разрезов, пройденных вкрест простирания жильных зон. Установлено, что $I_{ТЛ}$ неизмененных пород составляет в среднем 130—150 отн. ед., в них установлен только один низкотемпературный пик. Интенсивность ТЛ кварцитов из промежуточной зоны достигает 250—530 отн. ед.; обычно в них устанавливаются два пика термосвечения: первый, фиксируемый при 220°С, второй — при 280—300°С.

В незначительно измененных кварцитах первый (низкотемпературный) пик имеет слабую интенсивность термосвечения. При увеличении степени изменения горных пород увеличивается число пиков ТЛ и интенсивность термосвечения при 300°С. Свечение слабо измененных пород начинается при более высоких температурах. Увеличение $I_{ТЛ}$ и уменьшение максимальной температуры свечения (t_{max}) от слабо измененных к интенсивно измененным

породам по мере приближения к кварцевым жилам объясняется увеличением в этом направлении содержания радиоактивных элементов и апатита, уменьшением количества темноцветных минералов, никеля, кобальта и железа.

Особенно четко изменение $I_{ТЛ}$ кварцитов наблюдается в зонах их гидротермального изменения, где оно обусловлено перераспределением в породах акцессорных минералов. Установлено, что общее суммарное содержание апатита, циркона и монацита в измененных породах резко возрастает по сравнению с неизменными. Повышенному содержанию в пробах апатита соответствуют максимальные значения $I_{ТЛ}$ кварцитов.

Анализ фактического материала показал, что для выявления аномальных значений $I_{ТЛ}$ вмещающих пород достаточно проводить изучение интенсивности термосвечения при 180—220°С. Этот пик постоянно фиксируется почти во всех разновидностях кварцитов.

Во всех случаях $I_{ТЛ}$ вмещающих пород подчиняется логнормальному закону. Нижний уровень вероятных аномальных значений C_a определяется при помощи выражения

$$C_a \geq C_{\phi} + \frac{2S}{\sqrt{m}},$$

где C_{ϕ} — фоновое значение $I_{ТЛ}$; S — стандартное отклонение; m — количество точек, по которым оконтуривается аномалия $I_{ТЛ}$.

Оценка параметров распределения значений $I_{ТЛ}$ и значение нижнего уровня вероятных аномалий приведены в табл. 21. Около

Таблица 21

Оценка параметров изменения $I_{ТЛ}$ во вмещающих кварцевые жилы породах

Объект	Характеристика вмещающих пород	Количество анализов	$\frac{\lg C}{C_{\phi}}$	$\frac{S}{\varepsilon}$	C_a			
					А-1	А-2	А-3	А-4
1	Кварциты Дальнее	50	0,7477	0,4147	37,67	21,70	16,87	14,53
2	Кварциты Мионо-Дара (жила 29)	10	5,59	2,600	18,09	11,41	0,25	8,18
			0,5678	0,3447				
3	Кварциты Мионо-Дара (штольня 40)	30	3,697	2,212	34,91	27,3	23,0	20,0
			0,9638	0,3374				
4	Кварциты Мионо-Дара (жилы высокой продуктивности, штольня 40)	23	9,20	2,175	35,0	28,0	25,0	23,3
			1,1424	0,2060				
5	Кварциты Мионо-Дара (скважины)	70	13,8	1,6070	37,8	22,0	17,0	14,5
			0,7466	0,4153				
			5,58	2,60				

хрустальных гнёзд интенсивность термолюминесценции вмещающих кварцитов увеличивается (рис. 12—15). Показательно, что высокие значения $I_{ТЛ}$ кварцитов совпадают с аномалиями фтора, ртути и других элементов.

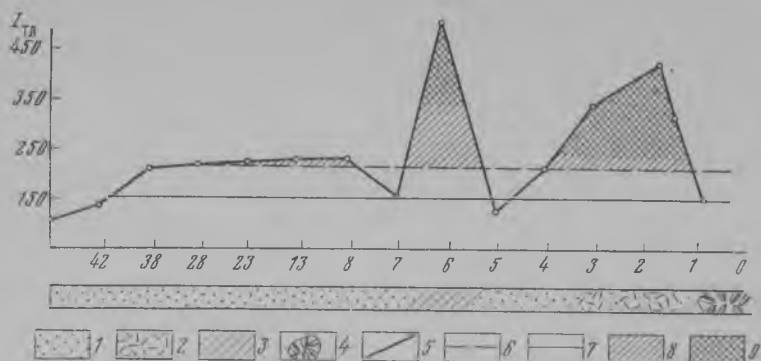


Рис. 12. Изменение $I_{ТЛ}$ во вмещающих породах около хрусталеносных гнезд

1 — кварциты; 2 — измененные породы; 3 — зона дробления; 4 — хрусталеносные гнезда; 5 — изменение $I_{ТЛ}$ кварцитов; уровни вероятных аномалий: 6 — положительных, 7 — отрицательных; 8 — значения ТЛ пород, превышающие уровень положительных аномалий; 9 — аномальные значения $I_{ТЛ}$ кварцитов

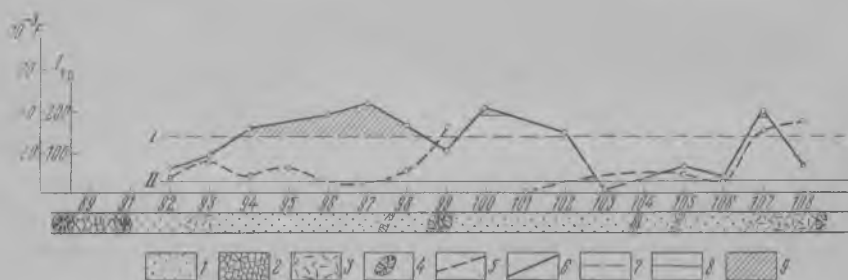


Рис. 13. Изменение $I_{ТЛ}$ кварцитов, расположенных на различном расстоянии от хрусталеносных гнезд

1 — кварциты; 2 — кварцевые жилы; 3 — измененные породы; 4 — хрустальные гнезда; 5 — изменение содержания фтора; 6 — изменение ТЛ кварцитов; уровни вероятных аномалий: 7 — положительных, 8 — отрицательных; 9 — значения ТЛ пород, превышающие уровни положительных аномалий

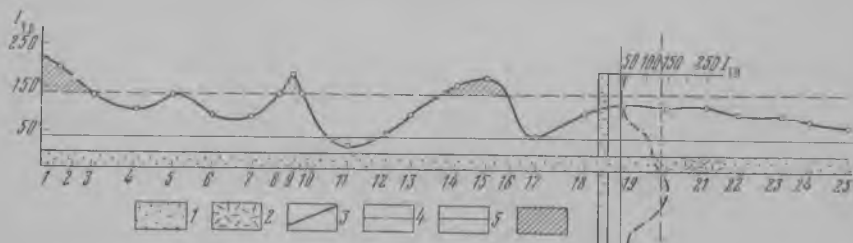


Рис. 14. Изменение $I_{ТЛ}$ кварцитов в подземной горной выработке, не вскрывшей хрусталеносных гнезд

1 — кварциты; 2 — измененные породы; 3 — изменение $I_{ТЛ}$ кварцитов; уровни вероятных аномалий: 4 — положительных, 5 — отрицательных; 6 — участки, выделяемые методом ТЛ для проходки рассечек с целью вскрытия возможных жильных тел

При интерпретации результатов ТЛ анализа необходимо учитывать, что во внутренней зоне гидротермально измененных пород, имеющей небольшую мощность — до 1,5 м (мономинеральные серицитовые зоны), $I_{ТЛ}$ резко уменьшается. Видимо, гидротермальные растворы в результате термического воздействия сильно снижают (часто до полного гашения) ТЛ вмещающих пород. Таким образом, указанием на наличие слепых жильных тел может служить резкое уменьшение $I_{ТЛ}$ — вплоть до уровня отрицательных аномалий — в непосредственной близости (0,5 м) от продуктивных зон.

Большой интерес представляло исследование изменения ТЛ: 1) при развитии горных пород у тектонических нарушений, 2) около даек изверженных пород, 3) при альбитизации и окварцевании пород, 4) около нехрусталеносных кварцевых жил, 5) около хрусталеносных кварцевых жил со слабо проявленными гидротермальными изменениями вмещающих пород.

Анализ фактического материала показывает, что при помощи метода ТЛ четко выявляются зоны дробления и дорудные тектонические нарушения, которые обычно являются следами прохождения гидротермальных растворов. Около разломов $I_{ТЛ}$ пород резко увеличивается. Так, на участке Джауваси в кварцитах около мощных зон разломов свечение начинается при 200°C , $I_{ТЛ}$ составляет 40—50 усл. ед. Кварциты, развитые вдали от разломов и кварцевых жил, начинают светиться при 160°C , $I_{ТЛ}$ составляет 10 усл. ед., причем максимальное свечение происходит в интервале 190 — 200°C . В кварцитах участка Лянгар, расположенных у разлома, увеличивается количество пиков ТЛ и их интенсивность. Данные рис. 13 относятся к зоне дробления, расположенной в 30 км от хрустально-го гнезда участка Мионо-Дара, которая также четко выделяется по максимальной $I_{ТЛ}$. Около даек изверженных пород на Восточном Памире $I_{ТЛ}$ вмещающих пород уменьшается. При этом происходит прогрев вмещающих пород, который приводит к частичному или полному высвечиванию и соответственно к снижению их ТЛ.

В ряде объектов горные породы подверглись предрудному окварцеванию. При этом наблюдается уменьшение $I_{ТЛ}$, причем в кварцитах появляются дополнительные пики свечения в обла-

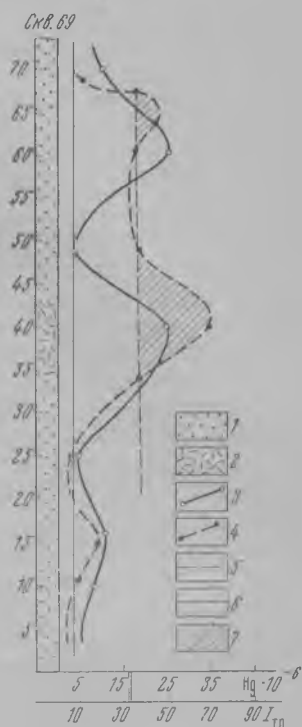


Рис. 15. Изменение $I_{ТЛ}$ по керну скважины (кварциты):

1 — кварциты; 2 — гидротермально измененные породы; 3 — изменение интенсивности ТЛ кварцитов; 4 — содержание фтора в породах; 5 — уровни вероятных аномалий; 6 — отрицательных, 7 — аномальные значения $I_{ТЛ}$

сти 350—360° С. Альбитизация горных пород приводит к увеличению $I_{тл}$, а отношение $\frac{I_1}{I_2}$ (неизмененных и альбитизированных пород) составляет 1,5—2.

Во вмещающих породах, развитых около нехрусталеносных кварцевых жил, как правило, отмечается уменьшение $I_{тл}$. Так, на участке Мионо-Дара $I_{тл}$ кварцитов составляет 15 усл. ед. против 120—150 усл. ед. около мощных хрусталеносных кварцевых жил. В ряде объектов Восточного Памира (жила 5 Зор Ярчи Чак) встречаются хрусталеносные кварцевые жилы со слабо проявленными изменениями вмещающих пород, около которых не наблюдается ореолов рассеяния ртуты и фтора. Однако методом ТЛ эти жилы четко выявляются.

На Восточном Памире некоторые кварцевые жилы приурочены к дайкам амфиболитов. В этом районе развиты также амфиболиты, с которыми не связаны кварцевые жилы. Продуктивные амфиболиты отличаются большими значениями $I_{тл}$, и отношение этих параметров составляет 1:3.

Таким образом, выполненные исследования подтверждают, что термолюминесцентный метод может служить хорошим средством для поисков хрусталеносных гнезд и разделения кварцевых жил по степени продуктивности. Метод помогает распознавать структурные особенности месторождений и пути движения гидротермальных растворов. Эти закономерности могут быть использованы при поисково-разведочных работах, в частности при выявлении слепых хрусталеносных тел.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ЗОНАМИ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

Разведка месторождений горного хрусталя длительное время осуществлялась по двухстадийной схеме, включающей поисково-разведочные и разведочно-эксплуатационные работы [17]. В этих условиях не было необходимости разграничивать задачи детальной и эксплуатационной разведок, поэтому вопросы эксплуатационной разведки месторождений горного хрусталя совершенно не освещены в литературе. В связи с повышением требований к соблюдению стадийности геологоразведочных работ на крупных месторождениях детальная разведка завершается до начала разработки месторождения [9]. Следовательно, необходимо определять задачи эксплуатационной разведки на таких месторождениях и рациональные пути их решения. Вопросы эксплуатационной разведки рассматриваются на примере одного из месторождений горного хрусталя, представленного зонами хрусталеносных кварцевых жил, которые развиты в осевой части и на крыльях брахиантиклинального поднятия, сложенного вулканогенными и осадочными породами нижнего палеозоя. Жилы имеют различное про-

стирание и падение, сложную форму и небольшие размеры (длина 10—20 м, мощность 1—3 м). Они образуют крупные продуктивные зоны протяженностью 400—1200 м и мощностью 100—200 м, прослеживающиеся по падению на глубину 150—200 м. Концентрация жил внутри зон невысокая, коэффициент кварценоности 0,01—0,05.

Месторождение разрабатывается открытым способом; оно детально разведано скважинами колонкового бурения по сети 25××25 м. По данным бурения о контуре продуктивной зоны, и в крупных геологических блоках запасы подсчитаны по формуле

$$Q = V \cdot k \cdot c,$$

где V — объем блоков; k — коэффициент кварценоности; c — среднее содержание горного хрусталя в жильной массе, принятое равным содержанию в отработанных жилах слоя опробования.

Проводимая на месторождении эксплуатационная разведка заключается в проходке скважин и горных выработок, сопровождающей добычные работы в карьере, и опробовании отвалов пород из продуктивной зоны.

Разработка месторождения ведется экскаваторами, производящими выемку вмещающих кварцевые жилы пород. Вскрытые жилы с содержащимися в них хрусталеносными гнездами отрабатываются вручную. Такая технология ведения горных работ не требует опережающей эксплуатационной разведки жил, подсеченных скважинами. Однако полученные при буровой разведке крайне скудные данные о размерах и хрусталеносности жил затрудняют определение очередности отработки жил, обеспечивающей равномерное выполнение плана добычи горного хрусталя в течение года. Для получения более полной характеристики жил в намечаемом к отработке контуре зоны производится шнековое бурение и проходка горных выработок.

Скважины располагаются по линиям, ориентированным поперек предполагаемого простирания жилы, что позволяет определить пространственное положение жил. Однако перебурить жилы шнеком для уточнения мощности не удастся. Поэтому после установления положения верхней границы жилы закладываются разведочные шурфы с таким расчетом, чтобы пересечь жилу на глубине 5—8 м. При крутом падении шурфы задают непосредственно по жиле. Разведка из шурфов ведется короткими рассечками, в результате чего устанавливаются мощность, морфология и степень хрусталеносности жил.

Полученные дополнительные данные позволяют наметить очередность отработки жил и обеспечить планомерную добычу. Затраты на эксплуатационную разведку не превышают 1% от общих затрат, связанных с разработкой месторождения.

При выемке вмещающих кварцевые жилы пород экскаватором мелкие жилы и апофизы, содержащие некоторое количество кристаллов горного хрусталя, могут быть не замечены. Поэтому по-

рода из продуктивной зоны складывается в специальном отвале. Попавшие в этот отвал кристаллы кварца могут представлять как временные, так и постоянные потери. Для решения вопроса о целесообразности переработки отвалов их опробуют мелкими шурфами по линиям, ориентированным поперек фронта продвижения отвала. Расстояние между линиями принимается 80—100 м, между шурфами в линии 20 м. При высоком содержании кристаллов отвалы подлежат переработке на гидроустановках, этим достигается уменьшение эксплуатационных потерь.

Выполняемые в настоящее время эксплуатационно-разведочные работы не решают ряда задач, обычно возлагаемых на эксплуатационную разведку: не уточняют границ продуктивной зоны и не повышают точности подсчета запасов.

Из-за отсутствия геологических границ продуктивные зоны месторождения оконтуриваются по крайним точкам подсечения жил скважинами. В связи с малой концентрацией жил в зонах притаким способе определения границ часть жил оказывается за контуром проектируемого карьера. Изменение контуров в процессе разработки месторождения связано с крупными дополнительными расходами, поэтому уточнение границ продуктивных зон, как правило, должно проводиться в стадию детальной разведки месторождения [34]. На рассматриваемом месторождении это не было сделано, и решение задачи ложится на эксплуатационную разведку.

Наиболее эффективным путем уточнения границ зоны является сгущение скважин по разведочным профилям в приконтурной полосе. Скважины следует задавать на половине расстояния между крайними результативными и нерезультативными скважинами.

Экономически обоснованные пределы сгущения скважин можно определить исходя из следующих положений. Бурение дополнительных скважин связано с увеличением затрат на разведку. Эти затраты могут окупиться добычей полезного ископаемого, оказавшегося за контуром карьера. Однако добыча этого полезного ископаемого связана с дополнительными затратами на производство горных работ, так как объем их при расширении границ зоны увеличится. В этих условиях сгущение скважин следует проводить до тех пор, пока затраты на разведку (A_p) и горные работы (A_d) не превысят или станут равными стоимости дополнительно получаемой продукции (A_n), т. е. $A_p + A_d \leq A_n$.

Для иллюстрации методики принятия экономически обоснованных решений рассмотрим упрощенную модель продуктивной зоны в виде примыкающих друг к другу параллелепипедов. Ширина этих параллелепипедов будет равна зоне влияния разведочного профиля, длина — ширине зоны по сечению, глубина — средней глубине распространения жил. При такой модели в соответствии с принятым способом оконтуривания подразумевается, что в крайних ограничивающих зону скважинах нижние отметки жил совпадают с нижней границей зоны. Как видно из рис. 16, вследствие

неточного определения границы зоны за контуром карьера может оказаться лишь небольшая часть объема продуктивной зоны.

Поскольку граница зоны может проходить через любую точку между результативной и нерезультативной скважинами, вероятность того, что дополнительная скважина позволит расширить границу зоны, будет $p_1=0,5$. При этом жилы могут быть встречены скважиной на различных интервалах глубин с одинаковой вероятностью. Поэтому вероятность встречи их за контуром карье-

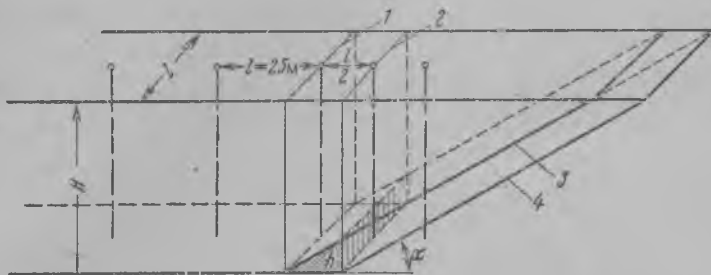


Рис. 16. Схема к расчету экономически допустимых пределов уточнения границ продуктивных зон

Границы продуктивной зоны:

1 — до сгущения скважин, 2 — после сгущения скважин; границы карьера: 3 — до сгущения скважин, 4 — после сгущения скважин; l — расстояние между скважинами разведочной сети; H — глубина зоны; α — средний угол откоса карьера. Заштрихована законтурная часть зоны

ра будет $P_2 = \frac{h}{H}$. Следовательно, вероятность выявления запасов в законтурной части зоны одной скважиной равна $P_0 = P_1 \cdot P_2$, а среднее число скважин (N), затрачиваемых на их обнаружение, составит

$$N = \frac{1}{P_0}.$$

Величина законтурных запасов (Q_3) будет изменяться в зависимости от максимальной глубины, на которой будут вскрыты жилы. Среднее значение их можно рассчитать из условия максимальной глубины подсечения жил на середине законтурной части скважины по формуле

$$Q_3 = \frac{3}{4} V_3 \cdot k \cdot c,$$

где V_3 — максимальный объем законтурной части продуктивной зоны; k — коэффициент кварценосности; c — среднее содержание горного хрусталя в единице объема продуктивных жил.

Стоимость дополнительно получаемой продукции (A_{II}) при цене единицы продукции (a_1) будет равна

$$A_{II} = Q_3 \cdot a_1.$$

Затраты на проходку разведочных скважин (A_p) для выявления законтурных запасов (Q_3) рассчитываем по формуле

$$A_p = H \cdot N \cdot a_2,$$

где H — длина скважин, равная глубине зоны; N — среднее число скважин, затрачиваемое на обнаружение запасов; a_2 — затраты на проходку 1 м скважин.

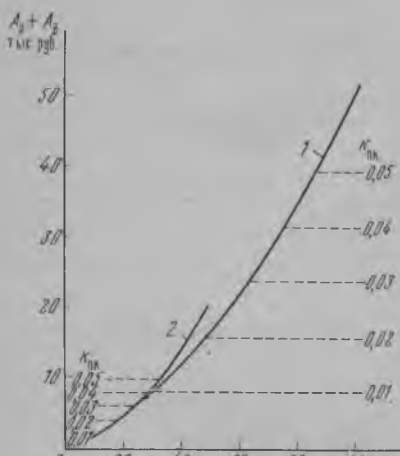


Рис. 17. Зависимость затрат на бурение и дополнительную вскрышу (для извлечения законтурных запасов) от глубины зоны при сгущении скважин до 12,5 м (1) и 6,25 м (2). Штриховые линии — стоимость дополнительно извлекаемого горного хрусталя при различных коэффициентах кварценосности блоков

значении коэффициента кварценосности зоны и постоянной цене единицы продукции остается постоянной (на рисунке — горизонтальные линии). Точки пересечения кривой затрат со стоимостью дополнительной продукции определяют предельные глубины продуктивной зоны, при которых экономически целесообразно производить уточнение ее границ.

В связи с весьма неравномерным характером распределения минерализации подсчет запасов на месторождении производится со значительной погрешностью. Эта погрешность может в дальнейшем вызвать определенные экономические потери. Погрешность и соответственно величину этих потерь можно уменьшить путем сгущения разведочной сети, снижающей погрешность подсчета запасов за счет повышения точности оценки коэффициента кварценосности. Исходя из этого, за оптимальную разведочную сеть следует принять такую, при которой сумма затрат на эксплуата-

Затраты на выполнение дополнительных горных работ (A_d) рассчитываем по формуле

$$A_d = a_3 \cdot V_d,$$

где a_3 — затраты на 1 м³ горных работ; V_d — средний объем дополнительных горных работ, связанных с извлечением законтурных запасов.

Средний объем дополнительных горных работ, как и запасов, определяем исходя из условия подсечения жил на середине законтурной части скважины (он будет равен половине максимального дополнительного объема).

По результатам расчетов составлен график (рис. 17), из которого видно, что с увеличением глубины зоны суммарные затраты на выявление и извлечение законтурных запасов непрерывно возрастают. В то же время стоимость дополнительно получаемой продукции при установленном

ционную разведку и ожидаемых экономических потерь достигает минимума. Однако в сложившихся условиях нельзя строго рассчитать оптимальную плотность разведочной сети. Представляется возможным получить лишь приближенное решение, учитывающее основную цель повышения точности подсчета запасов при плановом производстве — увеличение надежности выполнения плана добычи основной продукции. Если бы подсчет запасов производился без погрешностей, гарантией выполнения плана добычи являлось бы выполнение запланированных объемов горных работ (здесь и далее имеется в виду, что планирование производится строго в соответствии с подсчетом запасов). Иначе обстоит дело при наличии погрешностей подсчета — при отрицательной погрешности план добычи может быть выполнен при объеме работ меньше планового, при положительной, напротив, выполнение его потребует сверхплановых объемов горных работ.

Добиться выполнения плана добычи в случае положительной погрешности подсчета запасов можно двумя путями: 1) сгущения разведочной сети, снижающей погрешности подсчета; 2) выполнения дополнительных горных работ, компенсирующих погрешность подсчета запасов.

В обоих указанных случаях дополнительные затраты складываются из затрат на разведку (A_p) и затрат на дополнительные горные работы (A_d). По мере сгущения разведочной сети затраты на разведку увеличиваются, а затраты на горные работы для компенсации погрешности снижаются. Критерием оптимальности сети будет достижение условия, когда сумма дополнительных затрат на разведку и горные работы достигнет минимума, т. е.

$$A_p + A_d = \min.$$

Поскольку распределение погрешностей имеет вероятностный характер, величина погрешности может достигать бесконечности, следовательно, практически невозможно во всех случаях гарантировать выполнение плана добычи. Поэтому при расчетах принимается условие гарантии выполнения плана при средней положительной погрешности. Под средней погрешностью понимается среднее отклонение погрешности от нуля в сторону ее возрастания, т. е. математическое ожидание значений отдельных положительных отклонений $M(p)$.

Размеры оптимальной разведочной сети зависят от ряда факторов и в первую очередь от того, для выполнения какого плана (квартального, годового или пятилетнего) производится оптимизация этой сети. При дальнейшем рассмотрении план выражается в объеме подлежащего обработке блока.

Затраты на эксплуатационную разведку (A_p), связанную со сгущением сети разведочных скважин, составят

$$A_p = a_2 \cdot n \cdot l,$$

где a_2 — затраты на проходку 1 м скважин; n — число дополнительных скважин; l — средняя глубина скважин.

Затраты на дополнительные горные работы (A_d) рассчитываем по формуле

$$A_d = a_3 \cdot V_6 (1 + k_B) \cdot \frac{M(p)}{100},$$

где a_3 — затраты на 1 м³ горных работ; V_6 — планируемый к отработке объем блока; k_B — коэффициент вскрыши; $M(p)$ — математическое ожидание положительной погрешности подсчета запасов (в %).

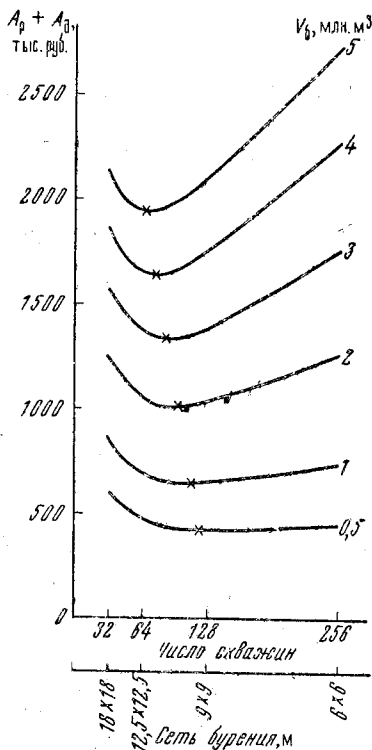


Рис. 18. Зависимость величины дополнительных затрат на разведку и горные работы от густоты разведочной сети при различных объемах блоков ($k_B=2$).

Крестиком отмечено положение минимума

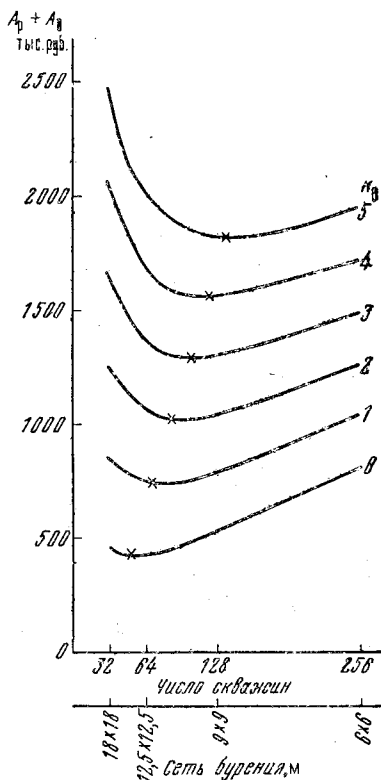


Рис. 19. Зависимость величины дополнительных затрат на разведку и горные работы от густоты разведочной сети при различных коэффициентах вскрыши (объем блока 2 млн. м³).

Крестиком отмечено положение минимума

С увеличением объема обрабатываемого блока минимум дополнительных затрат смещается в сторону более редких сетей (рис. 18). Это объясняется тем, что одинаковая точность оценки запасов, от которой зависит положение минимума затрат, в крупных блоках

достигается при более редких сетях, чем в мелких. При большом объеме блока положение минимума затрат выражено четко, и определение оптимальной сети не вызывает затруднений. Если же объем обрабатываемого блока небольшой, при сгущении сети вначале наблюдается заметное снижение кривой затрат, которые в дальнейшем остаются примерно на одном уровне, в связи с чем положение минимума выражено нечетко. В этом случае следует прекращать сгущение сети в начале выполаживания кривой затрат.

При возрастании коэффициента вскрыши минимум смещается в сторону более детальных сетей (рис. 19). Это означает, что при высоких коэффициентах вскрыши следует добиваться более высокой точности оценки запасов, т. е. применять более густую сеть, так как компенсация возможных погрешностей в этом случае потребует выполнения большего объема дополнительных горных работ.

Рассматриваемое месторождение характеризуется изменчивостью горно-геологических параметров, поэтому оптимальная детальность разведочной сети для различных его участков будет различной. Как показывают расчеты, сгущение разведочной сети с целью повышения гарантии выполнения годового плана добычи экономически целесообразно.

Данный метод определения рационального предела повышения точности подсчета запасов не учитывает изменение удельных затрат горного цеха на единицу товарной продукции, возрастающих по мере сгущения сети. Увеличение этих затрат измеряется первыми процентами, поэтому в ряде случаев ими можно пренебречь.

Проведенные исследования свидетельствуют, что выполняемые на месторождении эксплуатационно-разведочные работы являются недостаточными. Они не решают таких важных задач эксплуатационной разведки, как уточнение границ промышленной минерализации и повышение точности подсчета запасов.

Предложенные методы позволяют определить пути и рациональные пределы решения упомянутых задач. Полученные результаты указывают, что совершенствование методики эксплуатационной разведки в настоящее время представляет собой мало исследованный резерв повышения экономической эффективности эксплуатационных работ на месторождениях горного хрустала.

**ОЦЕНКА ЗАПАСОВ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ
МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ**

Рассмотрим методику оценки запасов на основе более полного использования геологоразведочной информации месторождений горного хрустала, которые в соответствии с группировкой по природным факторам, определяющим методику разведочных работ,

относятся к первой группе [17]. Это жильные тела, сложные жильные зоны и минерализованные зоны дробления большой протяженности, содержащие многочисленные погребя и гнезда с кристаллами горного хрусталя.

Оценка запасов рассматриваемых месторождений вследствие гнездового характера минерализации довольно сложна. Для применяемых способов подсчета (среднего арифметического, геологических и эксплуатационных блоков, геолого-статистических) характерна невысокая подтверждаемость. Отметим некоторые особенности использования первых двух на описываемых месторождениях. В первую очередь к ним относится определение контура блока запасов по естественным границам минерализованного тела, а не по крайним выработкам, вскрывшим полезное ископаемое. Поэтому понятие бортового содержания заменено минимальным промышленным. Среднее содержание определяется по данным валового опробования. В пробу включается кристаллосырье, извлеченное из полостей, вскрытых при проходке горных выработок. При этом большая часть гнезд выступает за контуры выработок (рис. 20). Это затрудняет определение объема валовой пробы, на который необходимо распространить сырье, добытое из гнезда. Игнорирование этого обуславливает систематические погрешности при расчете среднего содержания. Понятие «среднее содержание» здесь в значительной степени является условным, так как полезное ископаемое распределено в гнездах дискретно, и принятие концентрации горного хрусталя в них по аналогии с другими месторождениями даст «ураганные» пробы. При этом колебания в продуктивностях гнезд даже для одного горизонта иногда достигают нескольких порядков.

К основным приемам уменьшения систематических погрешностей при расчете средних содержаний относится, например, исключение из расчетов гнезд большой продуктивности с заменой гнездами средней продуктивности, изменение длин секций опробования при отнесении гнезд к той или иной пробе и т. д. Эти операции производятся с целью получить значение среднего, близкое к минимальному промышленному. Обычно в качестве контрольной цифры принимается значение среднего, полученного на основании отработки части месторождения.

Удовлетворительные результаты по исключению систематических погрешностей из расчета среднего были получены при использовании объемно-гнездового способа подсчета запасов [87]. Последний основан на приемах геометризации и более полном учете геологоразведочной информации. Однако здесь не принимается во внимание влияние корреляции между продуктивностью гнезд и их объемом — основными параметрами.

По сути описанные операции по исключению систематических погрешностей из расчета среднего содержания напоминают крайгинг [59]. В задачу крайгинга входит нахождение наилучшей оценки среднего содержания полезного компонента в некотором объеме на основании имеющейся информации о содержании в

пробах, отобранных как внутри, так и вне оцениваемого блока. В целом же смысл крайгинга состоит во взвешивании содержания по каждой пробе таким образом, чтобы оценка среднего содержания имела минимальную дисперсию. Взвешивание производится с учетом геометрии проб, их размеров и расположения относи-

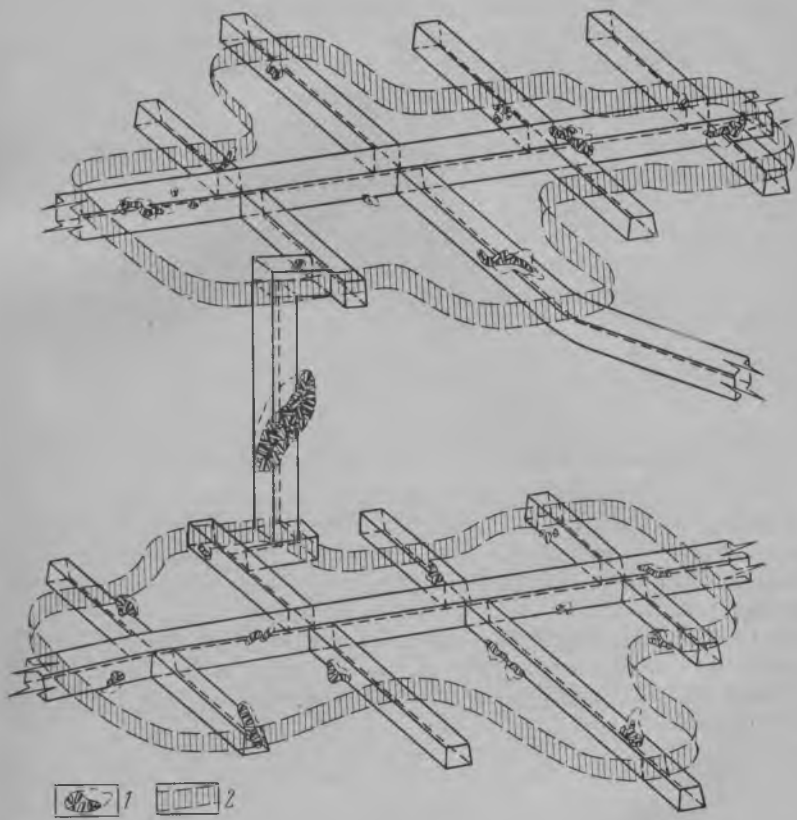


Рис. 20. Схема разведки месторождения горного хрусталя
1 — гнезда с горным хрусталем; 2 — контур блока запасов

тельно оцениваемого блока. Основным практическим значением крайгинга является исключение систематической ошибки из расчета среднего содержания по блоку. Проблему крайгинга в прямом его понимании невозможно решить без геостатистических исследований, причем неперемным условием применения крайгинга является однородность минерализации.

С позиций геостатистики гнезда горного хрусталя по отношению к месторождению в целом могут рассматриваться как концентрации точек, каким-то образом размещенные по объему минерализованного тела. Предложенная нами методика исследова-

ния изменчивости хрусталеносной минерализации с помощью площадных вариограмм [63] позволяет получить оценку геостатистической дисперсии продуктивности гнезд и определить тенденции в их распределении по объему минерализованного тела. Исследования, проведенные на моделях четырех месторождений горного хрусталя, свидетельствуют об отсутствии тенденции к группированию гнезд и об отсутствии зависимости продуктивности гнезд от расстояния между ними. С учетом последних замечаний рассмотрим возможность получения оценки запасов, свободной от систематических погрешностей, связанных с расчетом среднего содержания.

Пусть имеется участок минерализованного тела, разведанный системой горных выработок. Основная геологоразведочная информация — это размеры и количество вскрытых гнезд, их продуктивность, объем извлеченной жильной массы и, наконец, объем блока запасов. При наличии сведений о количестве гнезд в блоке, их размерах и продуктивности запасы \hat{Q} можно было бы определить по формуле

$$\hat{Q} = \sum_{i=1}^k q_i n_i, \quad (1)$$

где q_i — продуктивность гнезд определенного размера; n_i — количество этих гнезд.

Однако на практике оперируют с выборкой из гнезд, вскрытых при проходке разведочных выработок, причем значительное количество в основном крупных гнезд подсечено горной выработкой частично. Количество полезного ископаемого, приходящееся на часть гнезда вне выработки, пространственно принадлежит блоку. Вероятность подсечения гнезда определенного размера принятой системой горных выработок можно приближенно представить в виде отношения

$$\frac{V_i}{V_1},$$

где V_i — объем гнезда; V_1 — объем отработанного минерализованного тела. Поэтому при оценке запасов учет продуктивности отдельных гнезд должен осуществляться с учетом геометрии гнезд и их расположения относительно сечения выработки. В данном случае весами служат доли гнезд, оказавшиеся в контуре выработки

$$\gamma_i = \frac{V_i'}{V_i},$$

где V_i' — часть объема гнезда в контуре выработки; V_i — объем всего гнезда. Подобная методика учета продуктивности при расчете средних содержаний была предложена Р. В. Нифонтовым [65] и позднее Ю. А. Ткачевым [87].

Взвешенная продуктивность i -го (по размеру) гнезда q_i' , вскрытого разведочной выработкой, будет

$$q_i' = q_i \gamma_i \quad (2)$$

(если гнездо полностью в контуре выработки, $q_i' = q_i$).

Исходя из однородности распределения гнезд горного хрусталя в пределах минерализованного тела, вероятное количество реализаций в блоке запасов можно определить из соотношения $\frac{V}{V_1}$, где V — объем блока.

Запасы в блоке с учетом вероятности подсечения гнезд определенного размера и изменчивости хрусталеносной минерализации могут быть определены по формуле

$$\hat{Q} = \sum_{i=1}^k q_i' \cdot n_i \frac{V}{V_1} = \frac{V}{V_1} \sum_{i=1}^k q_i \gamma_i \quad (3)$$

Между продуктивностью гнезд и их объемом, выраженными в логарифмах, существует тесная корреляционная зависимость [86]. Связь значимая, положительная, удовлетворительно аппроксимируется прямой линией. Уравнение регрессии имеет вид $\lg q_i = a \lg V_i + \lg b$ ($q_i = b V_i^a$). Произведя оценку продуктивности в выражении (3) по уравнению регрессии, получаем конечную формулу оценки запасов

$$\hat{Q} = \frac{bV}{V_1} \sum_{i=1}^k V_i^a \cdot \gamma_i \quad (4)$$

где V — объем блока; V_1 — объем продуктивной жильной массы, извлеченной при проходке разведочных выработок; V_i — объемы гнезд определенного размера; γ_i — их части, оказавшиеся в контуре выработки, a и b — коэффициенты регрессии.

Основная погрешность оценки запасов по предлагаемой методике зависит от степени тесноты связи между параметрами гнезд — продуктивностями и размерами — и определяется величиной стандартного отклонения оценки продуктивности по уравнению регрессии. Чем большее количество гнезд войдет в расчет уравнения регрессии, тем точнее будет полученная оценка запасов.

Положительную сторону методики оценки запасов горного хрусталя с использованием корреляционных зависимостей между параметрами можно проиллюстрировать следующим примером. На одном из месторождений Урала в процессе разведки и отработки части месторождения оказались учтенными параметры (продуктивности и размеры) 72 гнезд. Общее же количество вскрытых и отработанных гнезд, по данным первичной документации, составило 778. Известно также общее количество кристаллосырья, извлеченного из этих гнезд.

По парным данным для 72 гнезд был произведен расчет корреляционных характеристик и составлено уравнение регрессии q на V (табл. 22, рис. 21). При наличии имеющейся информации запасы в блоке могут быть оценены по формуле

$$\hat{Q} = b \sum_{i=1}^k V_i^a \cdot n_i, \quad (5)$$

где n_i — количество хрусталеносных полостей в блоке; V_i — их объемы; a и b — коэффициенты регрессии.

Уравнение регрессии, составленное по парным данным для 72 гнезд, имеют вид

$$\begin{aligned} \lg q_i &= 0,981 \lg V_i + 3,203 \quad (q_i = \\ &= 1600 V_i^{0,981}), \end{aligned} \quad (6)$$

а формула оценки запасов

$$\hat{Q} = 1600 \sum_{i=1}^k n_i \cdot V_i^{0,981}. \quad (7)$$

Далее ряд, состоящий из 778 объемов гнезд, был разделен на классы по интервалам группирования, для которых были определены соответствующие частоты и средние значения по интервалам группирования. Затем была произведена оценка запасов по формуле (7). В сравнении с данными обработки погрешность оценки оказалась равной —11% (табл. 23).

Таким образом, использование при оценке запасов реально существующих зависимостей между параметрами гнезд позволяет получить незначительно смещенную оценку запасов. Предлагаемая методика основана на более полном и правильном использовании геологоразведочной информации. В оценке запасов по формуле (4) используются данные о параметрах всех гнезд, вскрытых при проведении разведочных выработок, что существенно повышает точность оцениваемых запасов в связи с увеличением объема выборки. Из расчетов исключаются систематические ошибки, которые имеют место при расчете средних содержаний в методах среднего арифметического, геологических и эксплуатационных блоков.

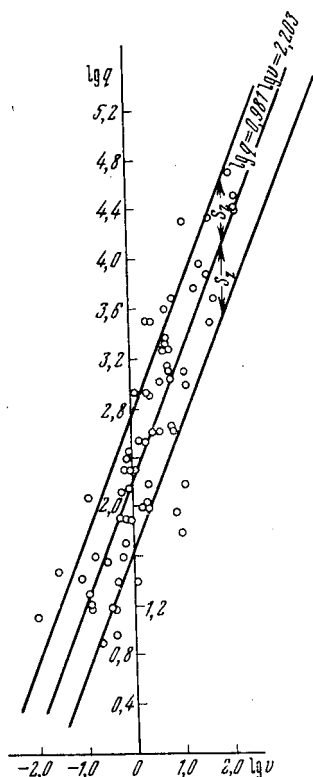


Рис. 21. График корреляционной зависимости между продуктивностями гнезд и их объемами:

по оси абсцисс — логарифмы продуктивностей гнезд, по оси ординат — логарифмы объемов. S_z — стандартное отклонение оценки продуктивностей гнезд по уравнению регрессии

проведении разведочных выработок, что существенно повышает точность оцениваемых запасов в связи с увеличением объема выборки. Из расчетов исключаются систематические ошибки, которые имеют место при расчете средних содержаний в методах среднего арифметического, геологических и эксплуатационных блоков.

Расчет корреляционных характеристик между продуктивностями гнезд q и их объемами V (месторождение А)lg q

lg V	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2-1,6	1,6-2,0	2,0-2,4	2,4-2,8	2,8-3,2	3,2-3,6	3,6-4,0	4,0-4,4	4,4-4,8	Σ	Характеристики
(-2,0) — (-1,6)												1	Среднее логарифмов продуктивностей $\overline{\lg q} = 3,568$ Среднее логарифмов объемов $\overline{\lg V} = 0,372$ Дисперсия логарифмов продуктивностей $S^2_{\lg q} = 0,988$ Стандарт $S_{\lg q} = 0,993$ Дисперсия логарифмов объемов $S^2_{\lg V} = 0,756$ Стандарт $S_{\lg V} = 0,870$ Ковариация $COV_{\lg q/\lg V} = +0,739$ Коэффициент корреляции $r_{\lg q/\lg V} = \frac{0,993 \cdot 0,870}{0,739} = +0,860$ Расчет уравнения регрессии $\lg q_l = a \lg V_l + \lg b$: $a = 0,860 \cdot \frac{0,993}{0,870} = 0,981$; $\lg b = 3,568 - 0,981 \cdot 0,372 = 3,203$; $\lg q_l = 0,981 \lg V_l + 3,203$; $q_l = 1600 V_l^{0,981}$ Дисперсия оценки продуктивности по уравнению регрессии $S^2_e = 0,268$ Стандарт $S_e = 0,518$
(-1,6) — (-1,2)	1											1	
(-1,2) — (-0,8)	1	3										5	
(-0,8) — (-0,4)	3	1										4	
(-0,4) — 0,0	1	2										13	
0,0 — 0,4			1									14	
0,4 — 0,8			3	1								14	
0,8 — 1,2			1	4	1							10	
1,2 — 1,6			2	6	3				1			4	
1,6 — 2,0			1	1	1	1			3	1		2	
2,0 — 2,4			7	8	12	7	11	9	5	3	3	72	
Σ	1	6	7	8	12	7	11	9	5	3	3		

Оценка запасов отработанной части месторождения А
в сравнении с фактическими запасами

Интервалы группирования гнезд по объемам $\lg V, \text{м}^3$	Среднее интервала группирования $\overline{\lg V}, \text{м}^3$	Частота встречаемости данного размера n_i	Средние объемы гнезд по интервалам (в степени 0,981) $V_i^{0,981}$	$n_i \cdot V_i^{0,981}$	$1600 \cdot n_i V_i^{0,981}$
(-2,4) — (-2,0)	-2,2	7	0,0070	0,049	78,0
(-2,0) — (-1,6)	-1,8	49	0,017	0,833	1333,0
(-1,6) — (-1,2)	-1,4	114	0,0424	4,834	7734,0
(-1,2) — (-0,8)	-1,0	155	0,1044	16,182	25891,0
(-0,8) — (-0,4)	-0,6	182	0,2583	47,011	75218,0
(-0,4) — 0,0	-0,2	146	0,636	92,860	148576,0
0,0—0,4	0,2	66	1,570	103,620	165792,0
0,4—0,8	0,6	31	3,880	120,280	192448,0
0,8—1,2	1,0	15	9,800	147,000	235200,0
1,2—1,6	1,4	6	23,600	141,600	226560,0
1,6—2,0	1,8	4	58,400	233,600	373760,0
2,0—2,4	2,2	3	243,800	431,400	690240,0
Σ		778		$\hat{Q} = 2142830$	усл. ед.

$$Q_{\Phi} = 2393190 \text{ усл. ед.}$$

$$\Delta = \frac{Q - Q_{\Phi}}{Q_{\Phi}} \cdot 100 = \frac{2142830 - 2393190}{2393190} \cdot 100 = -11\%$$

ВЫЯВЛЕНИЕ И УЧЕТ ВЫДАЮЩИХСЯ МОЩНОСТЕЙ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

Разведка месторождений горного хрусталя, представленных протяженными зонами кварцевых жил, осуществляется с помощью колонковых скважин. Подсчет запасов при этом производится по формуле

$$Q = V \cdot k \cdot c,$$

где V — объем блока; k — коэффициент кварценоности, равный отношению суммарной мощности кварцевых интервалов к суммарной длине скважин в пределах блока; c — среднее содержание горного хрусталя в жильной массе, оцениваемое по содержанию в отработанных жилах слоя опробования.

В отдельных случаях скважина пересекает кварцевую жилу под острым углом и по техническим причинам долгое время не выходит из нее. Фиксируемые при этом стволковые мощности жил являются выдающимися. По аналогии с влиянием ураганных содержаний полезных компонентов на результаты подсчета запасов следует ожидать, что учет выдающихся мощностей наравне с остальными приведет к значительному завышению оценки коэффициента кварценоности, а следовательно, и запасов горного

хрустала [81]. Для проверки этого предположения использован фактический материал по одному из участков крупного месторождения. Выделение и учет выдающихся стволовых мощностей произведены методом использования статистических функций распределения [7].

Распределение стволовых мощностей (рис. 22) может быть аппроксимировано логнормальным законом, что подтверждается с помощью критерия Колмогорова [14]. Гипотетическое распреде-

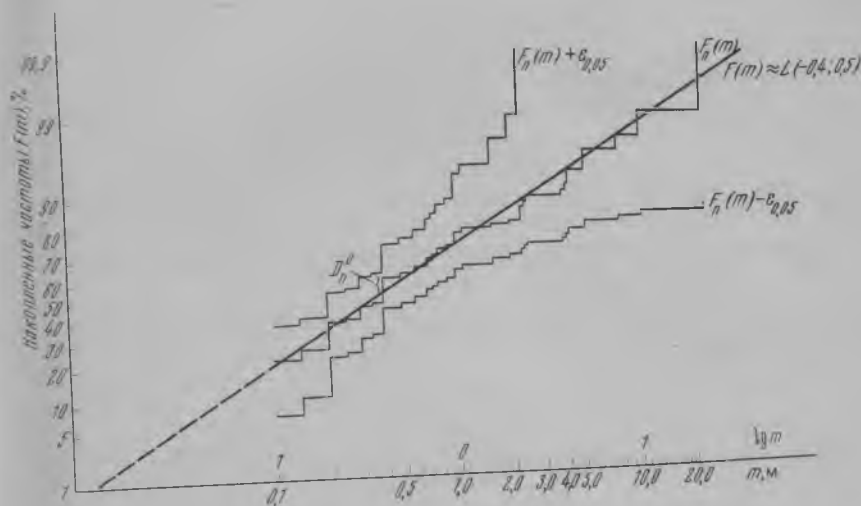


Рис. 22. Распределение стволовых мощностей кварцевых жил

$F_n(m)$ — график эмпирической функции распределения; $F(m)$ — график теоретической функции распределения; $F_n(m) \pm \epsilon_{0,05}$ — доверительные границы для $F_n(m)$ при 5%-ном уровне значимости

ление $F(m)$ следует считать согласующимся с эмпирическим распределением $F_n(m)$ при 5%-ном уровне значимости.

Оценки параметров распределения стволовых мощностей кварцевых жил следующие: среднее арифметическое логарифмов $\overline{\lg m} = -0,402$; среднее квадратическое отклонение логарифмов $S_{\lg} = 0,507$.

К числу ураганных предположительно отнесены значения свыше 7,9 м. По оценкам параметров распределения определена вероятность (P) появления мощностей больше минимального из числа предполагаемых ураганных ($P = 0,052$). Вероятное число жил с мощностью более 7,9 м среди подсеченных скважинами равно 0,419. Таким образом, по принятой гипотетической функции распределения нет основания ожидать, что хотя бы одна жила имела мощность равную или более 7,9 м, т. е. выделенные мощности следует отнести к категории ураганных.

Максимально допустимое значение неурганной мощности (m_{\max}) определяем по следующим уравнениям:

$$n [1 - F(t)] = 1; \quad t_{0,05} = \frac{\lg m_{\max} - \lg \bar{m}}{S_{\lg}},$$

где n — число жил с высоким значением мощности. Отсюда получаем

$$m_{\max} = ant \lg (t S_{\lg} + \lg \bar{m}) = 5,4 \text{ м.}$$

Этой мощности, исходя из среднего угла падения кварцевых жил месторождения, соответствует истинное значение 3,25 м. Оно практически равно максимальной средней мощности отработанных жил месторождения (3,23 м), что подтверждает правильность определения нижней границы ураганных мощностей.

Для выяснения влияния выдающихся мощностей на результаты подсчета запасов произведены расчеты по отработанной части месторождения двумя вариантами: 1) без замены выдающихся мощностей, т. е. учета их наравне с остальными; 2) путем замены их максимально допустимым значением неурганной мощности. Остальные параметры при подсчете не изменены (табл. 24).

Т а б л и ц а 24

Результаты подсчета запасов (в усл. ед.)

Варианты подсчета запасов	Запасы по категориям		Добыто из блоков по категориям		Погрешность подсчета запасов по категориям	
	$C_1 + C_2$	C_1	$C_1 + C_2$	C_1	$C_1 + C_2$	C_1
1	2947	2614	1973	1822	+49,4	+43,5
2	2350	2017	1973	1822	+19,1	+10,7

Из приведенных данных видно, что относительная погрешность подсчета запасов при учете выдающихся стволовых мощностей вскрытых скважинами кварцевых жил снизилась более чем на 30%. Учитывая, что сопоставление произведено по крупному участку месторождения (отработанный объем составляет около 3 млн. м³), результаты сравнения можно считать достаточно представительными.

Приведенный пример свидетельствует о том, что при подсчете запасов горного хрусталя на месторождениях, разведываемых скважинами, необходимо выделять и учитывать при помощи статистических функций распределения ураганные мощности кварцевых жил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы и программы решения геологических задач на ЭЦВМ «Минск-2», «БЭСМ-3м». Вып. 3. Алма-Ата, 1970, 133 с. КазИМС. Авт.: А. Н. Бугаец, Г. К. Дворниченко, А. М. Мацак, Л. Л. Серова.
2. Алгоритмы и программы решения геологических задач на ЭЦВМ «Минск-2». Вып. 1. Алма-Ата, 1968, 95 с. Авт. А. Н. Бугаец, Г. К. Дворниченко, Э. П. Кан и др.
3. Ануфриев Ю. Н. Метаморфогенная хрусталеносная минерализация и условия ее образования на Урале.— В кн.: Метаморфогенное рудообразование. Ч. 2. Киев, 1972, с. 263—271.
4. Ануфриев Ю. Н. Петрографические и минералого-геохимические исследования при поисках скрытых хрусталеносных жил на Южном Урале.— «Труды ВНИИСИМС», 1969, т. 10, с. 3—10.
5. Бергер В. И. Структурные условия размещения хрусталеносных кварцевых жил южной части Алданского щита.— «Труды ВНИИП», 1962, т. 7, с. 61—76.
6. Бескин С. М., Эфрос Б. Д. Основы классификации пегматитов формации малых глубин и методика выделения продуктивных объектов.— «Труды ВНИИСИМС» 1969, т. 11, с. 27—33.
7. Беус А. А., Родионов Д. А. Использование статистических функций распределения для выявления ураганных содержаний при подсчете запасов.— «Разведка и охрана недр», 1964, № 11, с. 16—20.
8. Бондаренко Н. В. Статистическое решение некоторых задач геологии. М., «Недра», 1970, 245 с.
9. Брезгунов Н. И. Рациональная стадийность геологоразведочных работ на гидротермальных месторождениях горного хрусталя.— «Труды ВНИИСИМС», 1970, т. 13, с. 106—113.
10. Бугаец А. А. Применение термозвукового метода исследования кварца при поисках редкометалльных пегматитов.— В кн.: Тезисы докл. III Всесоюз. совещ. по минералогии, термобарометрии и геохимии минералообразующих растворов. Александров, 1968, с. 206—209.
11. Бугаец А. Н. Статистические методы при поисках и оценке пегматитов по геохимическим данным. М., «Недра», 1970, 127 с.
12. Формальные методы разграничения геологических объектов и их применение при решении некоторых задач минералогии и металлогении.— В кн.: Применение математических методов в геологии. Алма-Ата, 1968, с. 146—149. Авт.: А. Н. Бугаец, Н. Г. Гражданцев, А. А. Дорофеюк, А. П. Мацак.
13. Бугаец А. Н., Дьячков Б. Н. К использованию информационно-статистических методов при решении некоторых задач металлогении.— В кн.: Применение математических методов в геологии. Алма-Ата, 1968, с. 32—36.
14. Ван-дер-Варден В. Л. Математическая статистика. М., Изд-во иностр. лит., 1960, 434 с.
15. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964, 576 с.
16. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Физматгиз, 1962, 463 с.
17. Гудков А. С., Киевленко Е. Я., Кондрашев С. Н. Основы

- поисков и разведки месторождений пьезооптических минералов (методическое руководство). М., Госгеолтехиздат, 1963, 217 с.
18. Гудков А. С. Пьезооптический кварц — условия кристаллизации и промышленно-генетическая классификация месторождений. — «Геол. рудн. месторожд.», 1967, т. 9, № 5, с. 90—97.
 19. Давиденко И. В. Особенности формирования и размещения хрусталеносных пегматитов. — «Труды ВНИИСИМС», 1964, т. 8, с. 23—38.
 20. Дмитриев С. Д. Геологические предпосылки и поисковооценочные признаки месторождений пьезооптического кварца и оптического флюорита в Центральном Казахстане. — «Информ. сб. ВСЕГЕИ», 1960, № 26, с. 41—55.
 21. Дмитриев А. П., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. Об одном принципе классификации и прогноза геологических объектов и явлений. — «Геология и геофизика», 1968, № 5, с. 50—64.
 22. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. О математических принципах классификации предметов и явлений. — «Дискретный анализ», 1966, вып. 7, с. 3—15.
 23. Долгов Ю. А., Базаров Л. М., Юсупов С. И. Поиски не выходящих на поверхность рудных тел по распределению элементов во вмещающих породах. — «Разведка и охрана недр», 1969, № 7, с. 26—29.
 24. Долгов Ю. А. Становление гранитных интрузий и образование камерных пегматитов. — В кн.: Условия образования пьезооптических минералов в пегматитах. М., 1969, с. 3—21.
 25. Домарев В. С. Рудные формации как историко-геологические образования. — «Геол. рудн. месторожд.», 1969, т. 10, № 4, с. 17—28.
 26. Ермаков Н. П. Геохимические системы включений в минералах. М., «Недра», 1972, 175 с.
 27. Ермаков Н. П., Громов А. В. Испытания декрептофонического и шлиховзрывного методов поисков на некоторых месторождениях Центрального Казахстана. — «Труды ВНИИСИМС», 1971, т. 14, с. 130—139.
 28. Ермаков Н. П. Использование включений минералообразующих растворов и расплавов в теории рудообразования, практике поисков и при выращивании минералов. — В кн.: Исследование минералообразующих растворов. М., 1966, с. 5—26.
 29. Ермаков Н. П. О происхождении кварцевых жил и месторождений горного хрусталя. — «Сов. геология», 1946, № 12, с. 62—75.
 30. Захаров Е. Е. О некоторых вопросах классификации рудных месторождений. — «Сов. геология», 1965, № 9, с. 15—33.
 31. Зарянов К. Б. К вопросу о химизме щелочных гранитов и значении повышенной щелочности в гранитоидах для хрусталеобразования. — «Труды ВНИИП», 1960, т. 4, вып. 1, с. 40—42.
 32. Захарченко А. И. Основные генетические особенности промышленных месторождений пьезооптических минералов и связанные с ними поисковые признаки. — «Материалы по геологии месторождений неметаллических полезных ископаемых. Нов. сер.», 1962, т. 83, с. 3—32.
 33. Захарченко А. И. Поисковые признаки и методика поисков и разведки хрусталеносных и флюоритоносных пегматитов. — «Информ. сб. ВСЕГЕИ», 1962, № 55, с. 21—50.
 34. Зенков Д. А. Некоторые особенности разведки и подсчета запасов прерывистого оруднения. — «Сов. геология», 1963, № 10, с. 63—75.
 35. Каждан А. Б. Пути совершенствования методики геологоразведочных работ и повышения их экономической эффективности. — «Сов. геология», 1972, № 2, с. 3—15.
 36. Калита С. Д., Чернышкова Л. П. Распределение редких щелочных металлов в топазо-морионовых пегматитах как критерий их продуктивности. — В кн.: Минералогия и генезис пегматитов. М., 1965, с. 186—194.
 37. Калюжный В. А., Ковалишин З. И. О закономерностях распределения углеродсодержащих газов в околпегматитовых гранитах и кварце занорышевых пегматитов УКШ. — «Геология и геохимия горючих ископаемых», 1967, вып. 9, с. 5—21.
 38. Карякин А. Е., Смирнова В. А. Структуры хрусталеносных полей. М., «Недра», 1967, с. 239.

39. Кварцметрическая съемка как метод поисков жильных месторождений.— «Труды СГИ», 1966, вып. 48, с. 224—230. Авт.: Г. Н. Вертушков, Ю. А. Соколов, В. И. Якшин, Ф. Ф. Борисов.
40. Киевленко Е. Я. Геолого-статистические методы подсчета запасов полезных ископаемых.— «Разведка и охрана недр», 1964, № 2, с. 13—15.
41. Ключков В. Т. К обоснованию геолого-статистического метода подсчета запасов.— «Труды ВНИИП», 1961, т. 5, с. 63—67.
42. Колбин Б. А. К геологической оценке слепых пегматитовых тел вероятностно-статистическими методами (на примере хрусталеносных пегматитов)— В кн.: Тезисы юбил. конф. молодых ученых-геологов г. Москвы, посвящ. 50-летию ВЛКСМ. Вып. 2. М., 1968, с. 25—26.
43. Обзор геологических понятий и терминов в применении к металлогении. Отв. ред. Е. Т. Шаталов. М., Изд-во АН СССР, 1963, 182 с.
44. Колтун Л. И. Термометрия кварца одного из районов Алдана.— «Труды ВНИИСИМС», 1966, т. 9, с. 148—154.
45. Комов И. Л., Оганесян Л. В. Использование ореолов рассеяния элементов при детальном прогнозировании гидротермальных хрусталеносных жил.— В кн.: Основы науч. прогноза месторожд. рудн. и нерудн. полезн. ископ., Л., 1971, с. 426—427.
46. Кондрашев С. Н. Пьезоэлектрический метод разведки. М., «Недра», 1970, с. 141.
47. Константинов Р. М., Дмитриев А. Н. Использование математических методов для анализа геологических факторов, влияющих на масштабы оруденения (на примере месторождений касситерит-сульфидной формации).— «Геол. рудн. месторожд.», 1970, т. 12, № 2, с. 56—64.
48. Константинов Р. М., Макеева И. Т. Рудные формации в современных металлогенических исследованиях (обзор опубликованных материалов).— «Сб. ВИНТИ. Рудные месторождения». 1972, т. 4, с. 108.
49. Константинов Р. М. Формационный анализ и прогнозная оценка магматогенных рудных месторождений.— В кн.: Основы науч. прогноза месторожд. рудн. и нерудн. полезн. ископ. Л., 1971, с. 14—16.
50. Колпрус А. В., Пузанов Л. С. Особенности формирования структур, вмещающих кварцевые хрусталеносные тела в Верхне-Тимптонском районе Алдана.— «Труды ВНИИП», 1962, т. 7, с. 87—103.
51. Кормилицын В. С., Страна П. А. Теоретические и практические аспекты двух основных направлений в учении о рудных формациях в приложении к металлогении и прогнозированию.— В кн.: Основы науч. прогноза месторожд. рудн. и нерудн. полезн. ископ. Л., 1971, с. 12—13.
52. Королев В. А., Шехтман П. А., Акбаров Х. А. Методы детального прогнозирования на рудных полях сложного типа.— «Закономерности размещения и вопросы прогнозирования полезных ископаемых Средней Азии». Вып. 8, 1969, с. 17—30.
53. Кравченко Г. Т. О времени формирования хрусталеносных жил Алдана и их связи с аляскистыми гранитами.— «Труды ВНИИП», 1960, т. 4, вып. 2, с. 17—27.
54. Кренделев Ф. П., Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И. Сравнение геологического строения зарубежных месторождений докембрийских конгломератов с помощью дискретной математики.— «Докл. АН СССР», 1967, № 5, с. 1149—1152.
55. Кузнецов В. А. Генетические группы и формации эндогенных рудных месторождений и их значение для металлогенического анализа.— В кн.: Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М., 1966, с. 7—18.
56. Лазько Е. М. Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис. На примере изучения Алданских месторождений горного хрусталя. Изд-во Львов. ун-та, 1957, 203 с.
57. Лузина В. Г., Дроздов В. П., Лузин Г. П. Основные факторы, контролирующие образование и размещение минерализации в пределах Восточно-Уральской хрусталеносной провинции.— В кн.: Геология и полезные ископаемые Урала. Т. 2. Свердловск, 1969, с. 101—102.
58. Малышев А. Г. Промышленно-генетическая классификация хрустале-

- носных пегматитов одного из месторождений Казахстана и методика подсчета запасов пьезосырья.— «Труды ВНИИСИМС», 1969, т. 10, с. 10—17.
59. Основы прикладной геостатистики. М., 1968, с. 133—141.
60. Мезенцев О. К., Ратников В. М., Скороспелкин С. А. Статистическая обработка данных геохимических поисков.— «Разведка и охрана недр», 1964, № 10, с. 10—15.
61. Металлогенический анализ рудоконтролирующих факторов в рудных районах. М., «Недра», 1972, 294 с. Авт.: Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, И. Н. Томсон и др.
62. Митич Г. Б. Структурно-морфологические факторы в оценке Южно-Якутских проявлений горного хрусталя.— «Труды ВНИИП», 1962, т. 7, с. 105—111.
63. Морохов В. А. Методика геостатистических исследований изменчивости хрусталеносной минерализации.— В кн.: Тезисы докл. 8 науч.-техн. конф. инж. фак. УДН им. П. Лумумбы. М., 1972, с. 174—175.
64. Морохов В. А., Ткачев Ю. А. Об изменчивости хрусталеносной минерализации на гидротермальных месторождениях горного хрусталя.— В кн.: Тезисы докл. 7 науч.-техн. конф. инж. фак. УДН им. П. Лумумбы. М., 1971, с. 201—203.
65. Нифонтов Р. В. Основы поисков, разведки и подсчета запасов пьезооптических минералов. М., Гостехиздат, 1955, 93 с.
66. Овчинников Л. Н., Максенов В. Г. Об использовании термолюминесценции в геологии.— В кн.: Проблемы геохимии. М., 1965, с. 507—516.
67. Овчинников Л. Н., Максенов В. Г. Термолюминесценция минералов и факторы, влияющие на ее интенсивность.— В кн.: Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Т. 3. Свердловск, 1963, с. 363—374.
68. Оганесян Л. В., Вязовова Р. В., Бунин А. С. О возможности применения литохимических методов при поисках хрусталеносных кварцевых жил (на примере хрусталеносных жил Восточной Сибири).— «Труды ВНИИСИМС», 1970, т. 13, с. 148.
69. Оганесян Л. В. Геохимическая подвижность элементов в первичных ореолах эндогенных месторождений.— «Разведка и охрана недр», 1968, № 10, с. 15—17.
70. Оганесян Л. В., Колбин Б. А. Эндогенный ореол фтора хрусталеносных пегматитов Волыни.— В кн.: Условия образования пьезооптических минералов в пегматитах. М., 1969, с. 116—121.
71. Оганесян Л. В. Некоторые вопросы оценки потенциальной хрусталеносности провинций, кварцевожильных узлов и полей.— В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 422—424.
72. Основные принципы составления, содержания и условные обозначения металлогенических и прогнозных карт рудных районов. М., 1964, 193 с. Авт.: Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, К. В. Яблоков и др.
73. Принципы крупномасштабного прогнозирования редкометалльного оруденения в вулканоплутонических формациях (с помощью ЭВМ).— «Сов. геология», 1972, № 1, с. 62—72. Авт.: А. Н. Еремеев, И. С. Модников, В. М. Писаревский, Л. В. Чесноков.
74. Ракчеев А. Д. Термолюминесценция минералов и горных пород и ее значение для геологии.— «Геология рудных месторождений», 1962, № 5, с. 84—94.
75. Родионов Г. Г. Типы слюдоносных пегматитовых тел и их промышленная оценка.— «Труды ВИМС», 1959, вып. 4, 83 с.
76. Родионов Д. А. Функция распределения элементов и минералов в изверженных горных породах. М., «Наука», 1964, 100 с.
77. Сидоренко А. В. Задачи геологов в свете решений XXIV съезда КПСС.— «Разведка и охрана недр», 1971, № 8, с. 1—6.
78. Смирнова В. А., Карякин А. Е. Закономерности формирования и размещения хрусталеносных полей Приполярного Урала.— В кн.: Геол. и полезн. ископ. Северо-Востока Европ. части СССР и Севера Урала. Т. 2. Сыктывкар, 1973, с. 451—456.
79. Смирнова В. А., Никитин Д. В. Значение блоковой тектоники в размещении хрусталеносной минерализации западной части Урала.— В кн.:

Условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых. Л., 1971, с. 193—200.

80. Смирнова В. А. Основные закономерности размещения хрусталеносных жил на Приполярном Урале.— «Труды ВНИИСИМС», 1969, т. 8, с. 15—22.

81. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. М., Гостеолтехиздат, 1960, 671 с.

82. Соловов А. П. Параметры первичного ореола эндогенного месторождения.— «Геология рудных месторождений», 1966, № 3, с. 72—82.

83. Солодов Н. А. Критерии оценки редкометалльных гранитных пегматитов.— В кн.: Минералогия и генезис пегматитов. М., 1965, с. 49—81.

84. Ступаков Г. П., Ануфриев Ю. Н. К вопросу о генезисе хрусталепроярлений на Кочкарском золоторудном месторождении.— «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1971, № 6, с. 79—87.

85. Твалчрелидзе Г. А. Опыт систематики эндогенных месторождений складчатых областей (на металлогенической основе). М., «Недра», 1966, 176 с.

86. Ткачев Ю. А., Морохов В. А., Лобанов В. К. Подсчет запасов на некоторых типах жильных месторождений горного хрусталя с использованием корреляции между параметрами.— «Изв. высш. учеб. заведений. Геология и разведка», 1971, № 4, с. 59—67.

87. Ткачев Ю. А., Морохов В. А., Тополев В. И. Об устранении систематических ошибок при расчете среднего содержания и подсчета запасов на месторождениях с гнездовым распределением полезного компонента.— В кн.: Тезисы юбил. конф. молодых ученых-геологов г. Москвы, посвящ. 50-летию ВЛКСМ. М., 1968, с. 10—11.

88. Трофимук А. А., Вышемирский В. С., Дмитриев А. Н. О сравнительном изучении гигантских месторождений нефти с использованием логико-дискретного анализа.— «Геол. нефти и газа», 1969, № 6, с. 17—19.

89. Ушверидзе Л. Е. О возрасте аляскитовых гранитов Южной Якутии и связь с ними хрусталеносных жил.— «Труды ВНИИП», 1961, т. 5, с. 19—24.

90. Ферсман А. Е. Драгоценные и цветные камни СССР. Изд. второе.— «Избран. труды». Изд-во АН СССР, 1962, т. 7. 592 с.

91. Хетчиков Л. Н., Балицкий В. С., Дороговин Б. А. Некоторые причины изменения температур гомогенизации, не связанные с изменением температур кристаллизации (по экспериментальным данным).— «Труды ВНИИСИМС», 1971, т. 14, с. 174—177.

92. Хетчиков Л. Н., Комов И. Л., Дороговин Б. А. Зависимость некоторых физических свойств кварца от условий его образования.— «Труды ВНИИСИМС», 1971, т. 14, с. 57—65.

93. Ходаковский И. Л. Характеристика гидротермальных растворов по данным газовой-жидких включений в минералах.— В кн.: Минералогическая термометрия и барометрия. М., 1965, с. 174—202.

94. Хотенок М. М. Признаки перспективности кварцевых жил и пегматитовых тел.— «Труды ВНИИП», 1957, т. 1, вып. 1, с. 93—100.

95. Методы количественной оценки прогнозных запасов эндогенных месторождений, рудных полей и районов.— В кн.: Принципы и методика составления металлогенических и прогнозных карт рудных полей и районов. М., 1973, с. 8—37.

96. Шторм Р. Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества. М., «Мир», 1970, 368 с.

97. Щеглов А. Д. Об основах научного прогноза эндогенных месторождений.— В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 7—9.

98. Янко Я. Математико-статистические таблицы. М., Госстатиздат, 1961, 243 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Прогнозирование месторождений горного хрусталя	6
Применение математических методов для оценки месторождений. <i>Комов И. Л., Хетчиков Л. Н., Бугаец А. Н., Мацак А. Г.</i>	6
Формационный анализ при прогнозе месторождений горного хрусталя на Урале. <i>Ануфриев Ю. Н.</i>	19
Крупномасштабное и детальное прогнозирование месторождений горного хрусталя в складчатых областях. <i>Ануфриев Ю. Н., Дроздов В. П., Лузин Г. П.</i>	26
Оценка потенциальной хрусталеносности кварцево-жильных и пегматитовых полей. <i>Малышев А. Г., Лукашев А. Н.</i>	33
Структурно-морфологические типы и условия локализации гидротермальных хрусталеносных жил Восточной Сибири. <i>Оганесян Л. В., Вязовова Р. В.</i>	37
Глава II. Поиски, разведка и оценка месторождений горного хрусталя	45
Применение дискретного анализа при оценке месторождений горного хрусталя Памира. <i>Комов И. Л., Бугаец А. Н., Хетчиков Л. Н., Мацак А. Г.</i>	45
Оценка перспектив месторождений горного хрусталя Восточной Сибири по особенностям газовой жидких включений в кристаллах кварца. <i>Хетчиков Л. Н., Дороговин Б. А.</i>	49
Количественная оценка перспектив хрусталеносности жильных полей на стадии поисковых работ. <i>Брезгунов Н. И., Брезгунова Г. Д.</i>	54
Методика и результаты изучения эндогенных ореолов рассеяния гидротермальных хрусталеносных жил Восточной Сибири. <i>Оганесян Л. В., Вязовова Р. В.</i>	57
Вероятностно-статистическая оценка перспективности геологических объектов по косвенным признакам. <i>Колбин Б. А., Ткачев Ю. А.</i>	66
Значение измененных пород для поисков и разведки хрусталеносных пегматитов. <i>Колбин Б. А., Ключков В. Г., Лукашев А. Н., Оганесян Л. В.</i>	70
Применение метода термолюминесценции для поисков хрусталеносных кварцевых жил. <i>Комов И. Л.</i>	76
Эксплуатационная разведка на месторождениях горного хрусталя, представленных зонами хрусталеносных кварцевых жил. <i>Брезгунов Н. И., Брезгунова Г. Д.</i>	80

Оценка запасов гидротермальных месторождений горного хрусталя с использованием корреляционных зависимостей между параметрами. <i>Морохов В. А.</i>	87
Выявление и учет выдающихся мощностей кварцевых жил при подсчете запасов горного хрусталя. <i>Брезгунов Н. И., Брезгунова Г. Д.</i>	94

Список литературы	97
-----------------------------	----