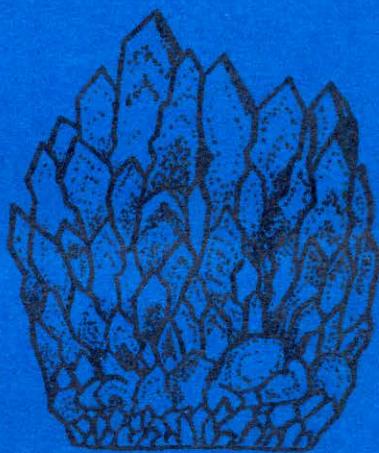


Н.А. Горячев

ЖИЛЬНЫЙ КВАРЦ
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА



МАГАДАН
1992

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Северо-Восточный комплексный научно-
исследовательский институт

Н.А.Горячев

ЖИЛЫЙ КВАРЦ
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА

Магадан
1992

UDC 553.62:553.41(571.65)

Veined Quartz in Yana-Kolyma Belt Gold Lodes

Magadan: Far East Branch, Russia Academy of Sciences, 1992. 136p.

The typomorphic properties of veined quartz are described as a result of a detailed study of 42 gold lodes in the North-East of Russia. The indicating features are found characteristic of this ore assemblage. Regular typomorphic alterations are distinguished pointing to a cryptozoning pattern of gold mineralization. The identified properties are actually applicable to prospect and estimate gold mineralization in the Russia North-East. The composition and properties of quartz as depending on originating conditions are considered. Polymer high-concentrated SiO_2 solutions are proved to be the most influential while gold mineralization.

The monograph is intended for specialists in mineralogy and geology learning ore deposits.

Published according to the Scientific Editorial Board,
Far East Branch, Russia Academy of Sciences.

Managing Editor G.N.Gamyakin

Readers V.I.Goncharov, N.E.Savva

ВВЕДЕНИЕ

По мере развития методов поисков и оценки рудных месторождений все с большей очевидностью наблюдается отставание минералогических методов от геохимических и геолого-структурных. Однако, как показывает практика поисковых работ, наличие благоприятных структурных и геохимических предпосылок еще не является обязательным фактором открытия месторождения. Достаточно сказать, что наличие многочисленных геохимических аномалий, зафиксированных в последние годы, не было подтверждено при проведении заверочных работ. Это свидетельствует о необходимости сочетания геохимических методов поисков с минералогическими, на что указывал еще в 30-е годы А.Е.Ферман.

Использование только геохимического метода, как случилось впоследствии, объясняется простотой и дешевизной массового спектрального анализа, объемом получаемых сведений, легко поддающихся математической обработке с помощью ЭВМ. Кроме того, в последнее время, благодаря внедрению в практику минералогических исследований современных локальных методов изучения вещества, физических приборов, развитию сети вычислительных комплексов, появилась возможность получить количественную информацию о минералах, что наряду с развитием учения об их типоморфизме позволяет успешно решать сегодня задачи поисковой минералогии. У данной проблемы есть еще один аспект. Мало найти рудопроявление или месторождение, надо еще и суметь его оценить, не прибегая к трудоемким и дорогим разведочным работам. В этом плане комплекс геохимических и минералогических методов является весьма перспективным.

Теоретической основой для решения задач поисковой минералогии является учение о типоморфизме минералов, сущность которого определяется глубоким анализом зависимости главных особенностей минералов, минеральных ассоциаций от условий минералообразования. "Являясь частью генетической минералогии, сопоставляемой с учением о парагенезисах, оно имеет свои цели (разработка

минералогических индикаторов формаций и типов руд и пород, установление показателей условий их образования), специфические методы (сравнительный анализ минералов разного генезиса и моделирование процессов возникновения минералов и различными типоморфными признаками), определение области применения результатов исследований (генетические построения, прикладная минералогия)" (Петровская, Чухров, 1983. С.141). В настоящее время сформулированы основные концепции данного учения, различные в нюансах, но общие по смыслу (Ферман, 1960; Ишкен, 1977; Гинзбург и др., 1981; Павлишин, 1983; Петровская, Чухров, 1984; Юргенсон, 1984), согласно которым типоморфизм минералов можно определить как отражение в их конституции, свойствах, формах выделения генетических условий образования. Соответственно под типоморфными свойствами мы понимаем те особенности минералов, которые специфичны для того или иного типа руд, месторождений, формаций и обусловлены условиями их образования.

Как показывают работы многочисленных исследователей, типоморфные признаки минералов могут использоваться в качестве критериев условий образования, рудно-формационной принадлежности, оценки вероятнойрудоносности, скрытой зональности оруденения. Среди работ, направленных на изучение типоморфизма минералов и их особенностей, можно выделить два направления (Петровская, Чухров, 1984): собственно генетическое – исследование процессов формирования руд и пород геологических образований на основании изучения минералов, их слагающих, и промежуточное – выявление минералов (их свойств) индикаторов пород и руд разных типов и формаций. Определение типоморфных свойств того или иного минерала с целью исследования их при поисково-оценочных работах стало одной из главных задач современной минералогии (Гинзбург и др., 1981). Указанные направления развиваются в тесной взаимосвязи, дополняя друг друга, особенно при решении вопросов, касающихся условий формирования минералов, минеральных ассоциаций, руд и рудных формаций.

В основе учения о типоморфизме минералов лежит типоморфический (типоморфный) анализ, задачей которого "является необходимость выявления типичного и отличительного для групп индивидов одного минерального вида или его разновидности, которые отражают определенные условия минералообразования, характеризующиеся описанными пределами вариаций РТА-параметров минералообра-

7 Эта глава

зующей среди" (Юргенсон, 1984. С.45). Под типоморфным анализом понимается также установление совокупности признаков минералов, типичных для изучаемых минеральных систем, путем сравнения с типоморфными признаками уже известных (Юшкин, 1977). Исходя из этого появляется возможность количественного выражения и обоснования корректности тех или иных типоморфных признаков. Типоморфный анализ – прежде всего метод сравнительно-статистический, он предполагает сравнение с эталоном. Для этого необходимо иметь: представительные выборки по каждому из изучаемых параметров, а также их серии – соответствующие разные формационные (генетические) типы. Для сравнения с эталоном предлагались методы отыскания по разности. По Н.П.Капкину (1977), общая мера отличия совокупности признаков эталона и исследованной выборки определялась как

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|a_i - \bar{a}|}{\bar{a}},$$

где n – число учтенных признаков, \bar{a} – среднее квадратичное отклонение, вычисленное для каждого из признаков эталона. По мнению Н.В.Петровской и Ф.В.Чухрова (1984), наиболее простой мерой типоморфности признака может быть величина отношения числа объектов, содержащих данный признак, к общему числу объектов исследуемого типа при условии его нехарактерности для объектов других типов.

Детально количественные аспекты типоморфности тех или иных признаков рассмотрел в своих работах Р.М.Константинов (1980_{1,2}), показавший на геологических примерах важность и возможность математического обоснования типоморфности признаков. По его мнению, определение типоморфности признака должно проходить в два этапа, сначала выявление и статистическое обоснование типоморфности признаков (методы математической статистики) – первый этап, а затем оценка устойчивости найденных признаков и силы связи с определяющей их средой минералообразования (логико-информационный анализ) – второй этап. Согласно Р.М.Константинову (1980₂), первый этап включает статистическую обработку данных и делится на проверку наличия типоморфизма методами дисперсионного анализа, последующее статистическое его обоснование с помощью критерия Фишера, Стьюдента, метода главных компонент, группировку типоморфных признаков по силе их связи с изучаемым изменением геологической обстановки минералообразования. Второй этап связан с применением логико-информационных методов с выявлением устойчивости типоморфных признаков и силы их связи с изменениями обстановки. При этом под устойчивостью понимается изменением обстановки.

ся постоянство изменения типоморфных свойств параметра в различных альтернативных геологических условиях.

Разработки Р.М. Константинова открыли новые перспективы в исследовании типоморфизма минералов. Они позволяют математически строго выявлять и обосновывать типоморфность тех или иных признаков.

По сути, проблема типоморфизма минералов сейчас сводится к количественному и строгому установлению типоморфности особенностей конституции и свойств минералов, к выявлению их устойчивости и величины силы связи с параметрами минералообразования. В меньшей степени они затрагивают типоморфность самих минералов, хотя известная конвергентность типоморфизма (Чухров, 1972) заставляет и здесь искать строгую обусловленность причинно-следственных связей.

Охарактеризованные выше методические аспекты исследований типоморфизма минералов показывают и взаимосвязь прикладного и генетического направлений учения о типоморфизме минералов. Изучая минералы месторождений разных формационных (а часто и генетических) типов, мы набираем статистические совокупности данных по типоморфности признаков одного или ряда минералов, специфичных в рамках месторождений той или иной формационной группы, набираем факты, отражающие изменчивость этих признаков в пространстве и во времени. Статистически их проверяем и используем в прикладных целях. Это происходит на первом этапе изучения. Применяя же логикоинформационные методы, определяя меру (силу) связи тех или иных выявленных параметров с условиями образования руд, что типично для второго этапа исследований, мы решаем задачи генетического направления. Конечно же, это не исключает и прямого исследования индикаторных свойств минералов, отражающих условия их образования (например, при сравнительном изучении кварца гранитов, пегматитов, грейзенов и гидротермальных или независимо от ихрудоносности и т.д.).

Таким образом, изучение типоморфизма минералов предполагает прежде всего статистическое наблюдение и проверку типоморфности того или иного признака, а также, что не менее важно, установление его устойчивости и меры прочности с изменениями условий формирования (геологической обстановки). В этом отношении значительный интерес представляет кварц - главный жильный минерал месторождений золота и ряда других металлов.

Изучением жильного кварца золоторудных месторождений Северо-Востока СССР автор занимался в процессе тематических исследований (1977-1984 гг.) в Якутском институте геологических наук СО АН СССР и в СВКНИИ ДВО АН СССР (1985-1990 гг.). Автором изучен кварц большинства месторождений Яно-Колымского пояса. В работе использованы также образцы, представленные А.Е.Баклыковым, Г.Н.Гамянинным, В.Я.Данченко, П.П.Колесниченко, А.В.Кокиным, И.Я.Некрасовым, М.И.Новгородовой, В.А.Поповым, Н.Е.Савва, В.П.Самусиковым, М.К.Силичевым, за что автор им глубоко признателен.

Автор выражает глубокую благодарность за ценные консультации и помощь в подготовке монографии В.И.Гончарову, И.Я.Некрасову, М.С.Сахаровой, В.А.Сонюшину, Г.А.Юргенсону, Я.В.Яковлеву, а также Г.Н.Гамянину и Н.Е.Савва.

Глава I. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТИПОМОРФИЗМУ КВАРЦА И МЕТОДИКА ЕГО ИЗУЧЕНИЯ

I. Общие сведения по типоморфизму золотоносного кварца

Вопросы типоморфизма кварца в литературе освещались много-кратно (Костылева, 1964; Василькова, Соломкина, 1965; Вертушков и др., 1969, 1970; Типоморфизм..., 1974; Павлишин, 1983; Юргенсон, 1984). В многочисленных публикациях последних лет показаны возможности использования различных свойств кварца как в прикладном аспекте (Баханова, 1975; Юргенсон и др., 1979), так и в генетическом (Комов и др., 1971; Павлишин, 1983). Начало таким работам было положено еще А.В.Шубниковым (1940), составившим сводку свойств кварца и охарактеризовавшим области его применения.

Ниже приводится состояние изученности жильного кварца золоторудных месторождений, необходимость отражения которого нужна для дальнейшего сопоставления с характеристикой кварца золоторудных жил Северо-Востока СССР.

Состав. По данным спектральных и химических анализов, приведенных в многочисленных работах, в кварце присутствуют около 40 элементов-примесей. Основными являются Франк-Каменецкий, 1964): Rb, K, Ag, Ca, Cu, Na, Li, H, Ba, Sr, Co, Ni,

Mg, V, Be, Fe, Al, Ga, P, Zn, Sn, Mo, Ti, Ge. Остальные встречаются спорадически. Общее количество примесей в кварце не превышает обычно 0,2%. Из вышеперечисленных элементов наибольшее значение имеют K, Li, Mg, Al, Ti, Ge, Fe, Ga, H, которые входят в структуру кварца либо изоморфно (Al, Ti, Ge, Fe, Ga), что установлено по спектроскопическим данным, либо в "полые" ее каналы (Na, Li, H) (Минералы, 1965; Дэна и др., 1966). Минимальные концентрации элементов примесей характерны для кристаллов горного хрустала (Кузнецова и др., 1988), гранулированного кварца (Жильный кварц.., 1988) и кварца метаморфогенных жил (Wunsch, 1990). Они отвечают уровню содержания элементов-примесей в безрудных кварцах (табл. I, 2). Причем даже в метаморфогенных золото-кварцевых жилах наблюдается повышенное количество Au, As, Sb и ряда других явно рудогенеральных элементов (см.табл.2). Обогащенность же рудоносных кварцев элементами, характерными для сопутствующих руд, довольно наглядно показана Г.А.Юргенсоном (1984), а спектр элементов-примесей золоторудных кварцев дополняется данными количественных спектральных и нейтронно-активизационных анализов кварца ряда месторождений (Ануфриев и др., 1973; Злобин и др., 1979; Новгородова и др., 1984), которые приведены в табл.3. Следует отметить аномально высокие концентрации лития (0,02-0,045%) в кварце близповерхностных месторождений золота Средней Азии (Бендик, 1986). Изучение распределения редких земель в кварце проводилось В.А.Злобиным и В.А.Пономарчуком (1979), М.И.Новгородовой (Петровская и др., 1985), показавшими важное генетическое значение этих элементов. Однако плохая сходимость опубликованных ими данных оставляет открытым, на наш взгляд, вопрос об индикаторности этих элементов для генезиса руд. Данные полуколичественного и приближенно количественного спектрального анализа кварца золоторудных месторождений Северного Казахстана и Кузнецкого Алатау (табл.5) свидетельствуют об относительно невысоких концентрациях некоторых рудных элементов, что с определенными оговорками позволяет использовать их для оценки содержания уровня этих элементов в кварце, хотя степень чистоты проб кварца вызывает сомнение (содержание золота составляет десятки грамм на тонну).

Таким образом, можно отметить, что кварц золотоносных жил характеризуется повышенными концентрациями мышьяка, золота, сурьмы и ряда других элементов - спутников золота в рудах.

Таблица I
Элементы-примеси горного хрустала и жильного безрудного кварца (г/т)

Месторождение и характеристика кварца	Кол-во проб	Источник								
		Al	Fe	Ti	Mg	Ca	Mn	Cu	K	Li
Бразилия, горный хрусталь	5	49,7	4,1	2	5	6,9	-	-	-	-
	20	51,2	2,4	1	0,6	1,8	0,02	-	-	To же
Приполлярный Урал, горный хрусталь	20	80,6	1,9	0,5	1	1	0,02	-	-	"
	32	12,7	6	4,1	3	4,8	-	-	-	"
	211	83,7	24,6	12,2	13,9	1,2	не опр.	7,4	6,4	3,2 Кузнецова и др., 1988
Средний Урал, Кыштым, гранулированный	20	20	14,6	3,2	8,6	14	0,04	0,63	-	Жильный кварц Урала, 1988
To же, Режик*, стекловидный	55	7,4	2,2	0,14	2	0,05	-	I4, I	-	To же
Кольский п-ов, Чупа*, ядра пегматитов	96	1,6	7,2	0,64	10	-	-	10	-	45
Центральный Казахстан, молочно-белый	14	35,8	20,8	0,51	1,64	20,7	1,67	0,36	-	"

*Кол-во проб неизвестно.

Примечание. Спектрохимический и количественный спектральный анализ, прочерк — отсутствие элемента.

Таблица 2

Элементы-примеси в метаморфогенном кварце (по Winsch, 1990)

Элемент	Кварцевые линзы и жилы в метаморфических по- родах	Золото-кварцевые жилы в кварцитах
Al	I00	I30
Fe	I7,5	I10
Ti	8,2	33
Mg	20	400
Ca	3,8	4
Mn	3,3	Не опр.
Na*	233	300
As*	I,9	I7,I
Au*	I,I	3
Co*	0,22	0,22
Cu	2	Не опр.
Sb*	0,66	3
Ge	0,9	Не опр.
B	8,3	I2
Ba	II,2	2
Sr*	3	Не опр.
Rb*	0,9	-"-
Cs*	0,17	0,1
Sc*	0,04	0,04
Ta*	0,06	0,02
Th*	0,04	0,02
Br	0,08	0,25
Sn	3	
W*	0,03	0,1

*Инструментальный нейтронно-активационный анализ (25 проб),
остальные - количественный спектральный.

Примечание. Всего 78 проб, золото - в мг/т, остальные - в
г/т.

Таблица 3

Содержание элементов-примесей (г/т) в кварце
Кочкарского месторождения (по Ю.Н.Ануфриеву и др., 1973)

Элемент	Тип кварца			
	Дорудный (4)	Рудный (8)	Позднеруд- ный (3)	Послерудный (10)
Li*	I,3	0,25	I,87	3,68
K*	34	42	71	67
Ca	26	107	20	72
Fe	524	577	330	225
Mg	10,7	66	22,5	41,I
Mn	20	28	13	22
Al	I6I	369	216	248
Ti	89	340	216	248
Cu	3	I4	I	9
	I8,7	6,7	9,9	9

*Пламенная фотометрия, остальные - количественный спектральный анализ.

Примечание. В скобках - кол-во проб.

Таблица 4

Распределение элементов-примесей в золотоносном жильном
кварце, по данным нейтронно-активационного анализа (г/т)

Эле- мент	Группа кварцевых жил*			Месторо- жение** Кумак (39)
	Околонитрузив- ная (19)	Промежуточная (7)	Удаленная (5)	
W	0,076	-	-	0,29
Co	0,086	0,266	0,039	16,34
As	42	505	38	0,02
Sb	0,190	0,848	0,348	Не опр.
Se	0,023	0,01	0,0006	
Na	445	84	27	700
Cs	0,674	0,52	0,15	Не опр.
Rb	2,575	0,455	0,466	-
Th	0,103	0,02	0,0022	-
U	0,321	-	0,024	-
Hf	0,054	-	-	-

*По данным В.А.Злобина и В.А.Пономарчука (1979)

**По данным М.И.Нонгородовой с соавторами (1984)

Примечание. В скобках - кол-во проб.

Таблица 5
Содержание элементов-примесей в золотоносном кварце
ряда месторождений, по данным полуколичественного
спектрального анализа (г/т)

Элемент	Месторождения Северного Казахстана (58)*	Коммунаровское месторождение (Г72)**	Саралинское месторождение (193)***
Li	12	28	37
Cu	77	80	40
Pb	3,5	2	30
Zn	4	5	40
Ag	0,6	0,1	0,2
Au	1,8	4	20
Bi	1,4	3	-
Co	1,5	5	-
Mo	1,0	-	-
Sb	47,5	-	-
As	-	96	100
Hg	-	0,17	0,14

Примечание. В скобках - кол-во проб. * - В.М.Гришин с соавторами (1971), ** - К.Р.Рабинович, В.А.Акчурин (1977).

Параметры элементарной ячейки. Первое прецизионное определение параметра решетки кварца было проведено в 1933 г. С тех пор было измерено очень много образцов как природного, так и искусственного происхождения. Это позволило сделать следующие выводы (Франк-Каменецкий, 1964): параметры элементарной ячейки прямо пропорционально зависят от количества примесей в решетке кварца, замещающих кремний или занимающих межузельное положение. Наибольшее влияние на параметры элементарной ячейки оказывает примесь алюминия, входжение которой зависит от температуры, кислотности-щелочности среды и скорости роста (Павлишин, 1983). Причем одни исследователи (И.Е.Каменцев и др.) считают, что она увеличивает параметры решетки обратно пропорционально температуре образования кварца. Они оперируют большим количеством определений параметров ячейки и данными количественного спектрального анализа кварца, в основном искусственного происхождения. Другие (В.С.Балыцкий, Г.Н.Вертушков), наоборот, на основании изучения температур образования природного кварца, распределение

ния в нем примеси Al по данным ЭПР-спектроскопии и анализа термодинамических условий входления Al в кварц (Dennen et. al., 1970) однозначно установили прямо пропорциональную зависимость входления структурной примеси Al в кварц от температуры его образования. Подобная противоречивость объясняется тем, что И.Е.Каменцев работал в основном с синтетическим кварцем, для которого при понижении температуры кристаллизации установлено образование большого количества структурных микродефектов с неструктурными примесями.

Параметры элементарной ячейки золоторудных кварцев (табл.6) практически не отличаются от таковых горного хрустала и гранулированного жильного кварца (Вертушков, 1968) и кварца других эндогенных образований. Обращают на себя внимание повышенные значения параметров элементарной ячейки кварца близповерхностных месторождений, что вместе с высокими концентрациями лития и алюминия свидетельствует о влиянии давления на параметры элементарной ячейки и на входление в структуру кварца Al и Li.

В последнее время появилась еще одна методика изучения структуры кварца, основанная на известном закономерном изменении полуширины пика дифракционного отражения 2354 кварца относительно эталона (Юргенсон, 1984). Эта величина - степень совершенства кристаллического строения (СКС) - обусловлена размером блоков когерентного рассеяния кварца и остаточными напряжениями II рода в нем (Юргенсон, 1984). СКС закономерно увеличивается с глубиной, что позволяет использовать ее в качестве индикатора зональности оруденения.

Совместное использование данной характеристики кварца с полученными по ИК-спектрам и по рентгеновским данным было проведено для месторождения Мурунтау (Царев и др., 1985; Чеботарев и др. 1986). Оно показало удовлетворительную сходимость разных методов и выявило элементы скрытой вертикальной зональности оруденения. При этом было показано, что кварц максимально продуктивных жил обладает и максимальными значениями СКС. Методы ИКС в применении к кварцу получили широкое распространение относительно недавно. Они использовались как для измерения СКС кварца, так и для установления в его составе количества и характера воды и углекислоты (Доломанова и др., 1972; Лазаренко, Павлишин, 1974). При этом обнаружено, что водород находится в кварце в форме H^+ , OH^- и H_2O а также и то, что с помощью этого ме-

Таблица 6
Параметры элементарной ячейки золотоносного кварца

Месторождение	a_0 , нм	c_0 , нм	V , нм^3	Источник
Березовское	0,49123	0,54051	0,II2955	Вертушков, 1968
	0,49124	0,54041	0,II2938	"-
Быньги	0,49127	0,54041	0,II2952	"-
Минлякское	0,49129	0,54047	0,II2974	"-
Кумакское	0,49127	0,54054	0,II2979	"-
Кочкарское	0,49137	0,54049	0,II3015	"-
	0,49128	0,54046	0,II2965	Анубриев и др., 1973
Мурунтау	0,49129	0,54046	0,II2967	"-
	0,49129	0,54036	0,II2951	Царев и др., 1985
	0,49129	0,54036	0,II2951	"-
	0,49129	0,54036	0,II2951	"-
	0,49125	0,54044	0,II2949	"-
	0,49128	0,54052	0,II2980	"-
	0,49129	0,54034	0,II2947	"-
	0,49128	0,54034	0,II2942	"-
	0,49123	0,54039	0,II2930	"-
	0,49124	0,54046	0,II2949	"-
Токурское	0,49129	0,54034	0,II2945	"-
	0,49144	0,54053	0,II3041	Коновалов, 1985
	0,49136	0,54046	0,II3004	"-
	0,49146	0,54053	0,II3065	"-
	0,49146	0,54054	0,II3067	"-
	0,49160	0,54052	0,II3127	"-
	0,49138	0,54058	0,II3038	Конев, Троненок, 1985
Кызылалмасай	0,49136	0,54056	0,II3025	"-
	0,49134	0,54047	0,II2997	"-
	0,49138	0,54053	0,II3028	"-
	0,49136	0,54054	0,II3012	"-
Каульды	0,49133	0,54058	0,II3015	"-
	0,49136	0,54062	0,II3037	"-

тода можно определять количество воды и углекислоты в кварце. В работе Н.Баркударян и А.Гребенчикова (1974) приведен анализ изучения концентрации CO_2 и H_2O в золотоносном кварце месторождений Урала, Казахстана и Средней Азии (свыше 400 проб). Сделаны следующие выводы: по спектрам ИКС можно отличать включения H_2O и CO_2 золотоносные и незолотоносные жилы отличаются по уровню CO_2 и H_2O ; пневматолитовый кварц отличается от гидротермального (для больших и средних глубин), а в приповерхностных условиях они практически не различимы; по ИК-спектрам можно судить о глубине образования тех или иных месторождений. Исследования показали, что по данным ИК-спектров золотоносный кварц характеризуется дефектами типа OH^+/M^+ , где M^+ - Al , Na , K , Li , и что в золотоносных кварцах предполагаются гель-дефекты.

Термолюминесцентные свойства кварца имеют весьма важное значение в проведении как генетических, так и прикладных исследований. О повышенном интересе к этому методу свидетельствует большое количество публикаций. Кривые термолюминесценции (ТЛ) для разных генетических типов кварца весьма сложного характера и различаются между собой. Обычно выделяются один или два пика при $200-220^\circ\text{C}$, $280-300^\circ\text{C}$ или $350-380^\circ\text{C}$. Число пиков, их форма и относительная интенсивность используются в качестве типоморфных признаков кварца (Марфинин, 1985; Павлишин, 1983; Юргенсон, 1984 и др.). ТЛ кварца определяется устанавливаемыми по спектрам электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), дырочными центрами типа $\text{Al}-\text{R}^+$ (где R^+ = Na , K , Li , H), с которыми связаны пики в области $200-220^\circ\text{C}$, и электронными центрами (Ge , Tl и другие), обусловливавшими пики $280-300^\circ\text{C}$ и более. Определенные значения имеют и так называемые Е-центры. В настоящее время ТЛ кварца изучают как в естественном состоянии (ЕТЛ), так и после облучения (ИТЛ) нейтронными или рентгеновскими лучами. ИТЛ дает гораздо больше информации о природе свечения, ЕТЛ менее выразительна, но более доступна и по ней можно проводить возрастное сопоставление кварца разных генераций, выявлять скрытую зональность оруденения и т.д. (Эшкин и др., 1976; Юргенсон, 1984 и др.). Основными генетическими факторами, определяющими изменчивость ТЛ (интенсивность свечения и температурный максимум) являются соотношения элементов-примесей и скорость роста кристаллов кварца (Балицкий и др., 1971). Некоторые исследователи отмечают закономерное увеличение интенсивности ТЛ (как ЕТЛ, так

и ИПЛ) от ранних зон кристаллов кварца к поздним (Комов и др., 1971; Гришин и др., 1971; Павлишин, 1983). По характеру свечения можно судить о степени рудоносности кварца (Лысаков и др., 1972), отличать рудные кварцы от безрудных (Голованов и др., 1974; Потапов и др., 1985; Вальд, 1985; Кудайбергенова, Изюмский, 1985 и др.). В то же время отмечено, что ЕПЛ не зависит от степени золотоносности руд (Бушляков, Максенков, 1970; Гришин и др., 1971). В частности, кварц жильных золоторудных глубинных-среднеглубинных месторождений характеризуется преимущественно ТЛ-граммами с двумя пиками 220–250°C и 310–340°C (Гришин и др., 1971; Баханова и др., 1974; Юргенсон, 1984; Кудайбергенова, Изюмский, 1985 и др.). Многими исследователями показано закономерное изменение интенсивности ЕПЛ кварца с глубиной в золоторудных месторождениях. Причем Г.А.Юргенсон указывает на увеличение интенсивности ЕПЛ с глубиной, наиболее контрастное в малоглубинных месторождениях. Однако в некоторых работах указывается на общее уменьшение ЕПЛ с глубиной (Использование..., 1976; Рабинович, Акурина, 1977). Вполне возможно, что такое различие, с одной стороны, отражает влияние разных факторов на ЕПЛ золотоносного кварца, а с другой – вариации ЕПЛ в вертикальной плоскости рудных жил. Одним из методов изучения условий образования кварца является исследование его диэлектрической проницаемости (ϵ) и потерь. По данным Н.Н.Васильковой и С.Г.Соломкиной (1965), ϵ колеблется от 4,5 до 6 ед. для жильного кварца, а для кварца золоторудных месторождений Казахстана – от 1,84 до 6,25 (Баханова, 1975). Эти исследователи, а также Г.А.Горбатов (Методы..., 1985) считают, что диэлектрическая проницаемость связана с насыщенностью кварца газово-жидкими включениями и примесями. Г.А.Юргенсон (1984) показал взаимосвязь ϵ с текстурными особенностями жил, с глубиной образования (возрастает с глубиной) и содержанием золота.

Методы термобарогеохимии описаны во многих работах (Ермаков, 1972; Пизнер, 1973 и др.), поэтому ограничимся лишь краткой ссылкой на то, что газово-жидкие включения несут в себе определенную генетическую информацию о составе, температуре и давлении гидротермальных растворов при образовании кварца.

2. Изученность жильного золотоносного кварца Северо-Востока СССР

В настоящее время на фоне обильных материалов по характеристике рудных минералов золотоносных жил Северо-Востока СССР

кварцу, их главному минералу, внимания до сих пор уделялось мало. Первыми исследователями жильного кварца региона следует считать П.И.Скорнякова и Л.В.Фирсова, еще в конце 40–50-х годов обративших внимание геологов на генетическую информативность морфологии и текстур кварцевых жил и структур кварца. После их исследований повышенный интерес к кварцу как минералу возник лишь в 70-е годы. Здесь следует отметить работы О.А.Суставова (1973, 1976, 1978, 1987–1989), целенаправленно применявшего кварциметрическую съемку на золотых месторождениях Якутии. Термолюминесценция кварца изучалась А.И.Зайцевым (1974), В.М.Ольшевским (1976), Н.Я.Болотовой и В.П.Филипповым (1981). Результаты изучения ИК-спектроскопии кварца приводятся в кратком сообщении Н.Б.Бурхударян с соавторами (1977), оценившими вариации CO₂ и H₂O в кварце. Наиболее представительно охарактеризованы газово-жидкие включения в кварце (Воскресенский и др., 1972; Трухин, Бибиков, 1974; Манучарянц, Маркова, 1977; Манучарянц и др., 1979; Шило и др., 1988). Выявлена термобарическая зональность (Силичев, Белозерцева, 1981), исследованы особенности состава растворов и газовой фазы включений (Молчанов, Малахов, 1975; Мельцер, 1979; Иванюк, 1982; Шило и др., 1988).

Согласно результатам, полученным этими исследователями по отдельным месторождениям, установлены различия в параметрах элементарной ячейки молочно-белого продуктивного и позднего шестоватого кварца (Суставов, 1978), выделены генетические типы кварца (Суставов, 1973; 1976; 1990). Показано, что рудоносный кварц обладает наибольшей степенью деформированности.

Выявлены четыре типа ТЛ кварца и сделан вывод о зависимости ТЛ от структурных особенностей кварца и условий его образования (Зайцев, 1974; Болотова, Филиппов, 1981; Тюкова, Гибшер, 1989), обнаружено незначительное количество алюминиевых центров в кварце (Андреев и др., 1984).

Температуры гомогенизации рудного кварца лежат в пределах 365–170°C, а декрепитации – 420–170°C, давление оценено интервалом 480–1700 бар (табл.7), состав включений преимущественно углекислотный с примесью хлора и серы в анионной части и щелочно-щелочноземельный (при преобладании натрия над калием) в катионной.

Из приведенного обзора видно, что кварц золоторудных месторождений имеет разный набор признаков, каждый из которых в от-

Таблица 7
Температура и давление при образовании жильного золотоносного кварца Яно-Колымского пояса, по литературным данным

Температура, °С	Давление, кбар	Источник
292-264 (Г)	1,1-1,7	Воскресенский и др., 1972
290 (Д)	-	Трухин, Животнев, 1974
I 365-220 (Г)	0,9-2,1	Манучарянц и др., 1979
II 255-I70 (Г)	0,65-1,3	"-
I 390-350 (Г)	0,4-1,3 (I-III)	Ворцепинев и др., 1985
II 350-250 (Г)	-	"-
III 270-I20 (Г)	-	"-
360-I50 (Д, Г)	1,16-1,67	Силичев, Белозерцева, 1980

Примечание. I-III – группы газово-жидких включений с разными температурами гомогенизации (Г) и декрепитации (Д).

дельности не всегда отражает его специфичность. Однако комплексное применение таких признаков является источником для получения максимально объективной информации о его генезисе.

Комплексного целенаправленного изучения золотоносного кварца данного региона не проводилось, что послужило основанием для постановки в 1977 г. работ по исследованию особенностей состава и свойств его в месторождениях Яно-Колымского золотоносного пояса, с целью выявления типоморфных признаков, которые можно было бы использовать как при поисково-оценочных работах (выявление рудных жил, критерий типизации оруденения, индикатор скрытой зональности оруденения), так и для определения условий формирования золотоносных жил.

Выбор комплекса методов диктовался, с одной стороны, максимальной информативностью, а с другой – экспрессностью и простотой выполнения, что позволило бы в будущем использовать их в производственных организациях при массовых работах. Помимо традиционных оптических методов применялись: количественный спектральный и спектрохимический анализ, прецизионное определение параметров элементарной ячейки, резонансный метод определения

диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь, метод термolumинесценции, а также разные методы изучения газово-жидких включений – вакуумная декрепитация, гомогенизация, водные вытяжки и газовая хроматография. Применение автоматизированных систем (дифрактометр-ЭВМ) позволило поднять экспрессность определения структурных характеристик, а использование оригинальных приспособлений Г.А. Горбатова (Методы..., 1985) – резко увеличить производительность измерения диэлектрических свойств.

3. Методика изучения кварца

Отбор материала для изучения состава и свойств кварца проводился в ходе полевых работ на известных месторождениях золота. Пробы по мере возможности отбирались точечным методом (их масса обычно составляла 0,1-0,5 кг) в объеме кварцево-рудных тел. Наиболее подробно изучался кварц опорных месторождений с максимальной вскрытистью по вертикали и горизонтали. Это позволило проводить сравнительное изучение разных по степени разведенности жильных рудопроявлений и месторождений.

Изучение типоморфных особенностей проводилось по всем разновидностям кварцевых жил. Полученные характеристики сопоставлялись с таковыми для наиболее распространенных разновидностей кварца, особенно продуктивного, разных типов жил, классификация которых приводится в следующей главе.

В дальнейшем пробы дробились, отмучивались в воде и расситовывались на классы (мм): +1,0; +0,5-1,0; -0,5. Фракция +0,5-1,0 мм подчищалась в бромоформе с удельным весом 2,66 г/см³. Затем под бинокуляром отбиралась навеска в 5-10 г. После чего она дробилась на истирателе ЛДИ-1, обрабатывалась кислотами (HCl и HNO₃) для удаления возможных примесей карбонатов и сульфидов и снова расситовывалась на классы (мм): 0,5-0,25; 0,25-0,16; -0,16. Просматривалась под бинокуляром и использовалась для аналитических работ: анализ состава водных вытяжек (фракция 0,5-1,0 мм – 5 г); термolumинесцентный анализ, вакуумная декрепитация, хроматографический анализ (фракция 0,5-0,25 мм по 300 мг), диэлектрические свойства (фракция 0,25-0,16 мм – 100 мг), спектральный анализ, спектрофотометрия, рентгено-флюoresцентный на ртуть, определение параметров элементарной ячейки и степени совершенства кристаллического строения (истертые пробы в агатовой ступке – время истирания в спирту 3 мин., навески от 50 до 500 мг в зависимости от вида анализа).

Параллельно из сколов готовились шлифы и плоскopolированые с двух сторон пластинки. В них устанавливались вероятные минералы-примеси, могущие влиять на состав кварца, проводилось изучение его структур, а также выявлялись взаимоотношения с другими минералами (для этого также просматривались анишлифы).

Математическая обработка результатов проводилась на базе ВЦ СВКНИИ ДВО АН СССР по программам АСОИ "ГЕОЛИС" (математическая статистика, законы распределения, коэффициенты корреляции). Часть результатов была обработана на ВЦ ЯНЦ СО АН СССР (построение графика зональности ЕТЛ кварца и ряд других). Большое количество малых выборок обработано на микрокалькуляторе МК-71 по стандартной программе статистического анализа.

4. Характеристика методов изучения

Электронно-микроскопическое изучение с помощью микрозонда JXL-50A, работающего в режиме сканирования. Напряжение 30 кВ; свежий скол кварца напылялся золотом, диапазон увеличений 200-30000, оператор С.Н.Акишев (ЯИГН СО АН СССР).

Состав кварца определялся химическим анализом (K, Na, Li, Al), количественным спектральным и рентгенофлюоресцентным (Hg) методами.

Щелочи и глинозем анализировались в химико-аналитической лаборатории ЯИГН СО АН СССР. При этом применялась следующая методика (Горячев и др., 1983). Навеска в 250 мг, смоченная несколькими каплями бидистиллята, растворялась в платиновой чашке в смеси 1:10, разбавленной (1:1) серной и концентрированной плавиковой кислот. Для удаления кремнекислоты пробы нагревали до обильных паров серного ангидрида и почти полного от выпаривания, затем добавляли 5 мл бидистилированной воды и повторно нагревали. Обработка бидистиллятом и выпаривание проводились трижды. Далее в охлажденную чашку добавляли 2,5 мл разбавленной (1:2) соляной кислоты. Все это осторожно нагревали и переливали в мерные колбы по 25 мл. Из исходного раствора для определения глинозема спектрофотометрическим методом брали аликвоту (5 мл). Из оставшегося раствора методом фотометрии пламени определяли щелочи. Относительная ошибка в определении алюминия 8-13%, щелочей - 7-30% (аналитики В.В.Гамзина, Л.А.Шадрина, Э.П.Сабардахова, ЯИГН СО АН СССР).

Ртуть определялась в лаборатории геолого-поисковой экспедиции ПГО "Центргеофизика" рентгено-флюоресцентным методом с чув-

ствительностью 10 мг/т. Остальные элементы определялись количественным спектральным анализом по методике ЭКСА (Приставко и др., 1982) в лаборатории СВКНИИ ДВО АН СССР.

Параметры элементарной ячейки определялись по стандартной методике (40 проб) прецизионного анализа в камере РКЭ-II4, остальные образцы - на дифрактометре ДРОН-2,0, соединенном с ЭБМ СМ-ИМ, с использованием внутреннего (германия) и внешнего (горного хрустала с Кожимского месторождения на Урале) стандартов. Измерялось и обсчитывалось 20 рефлексов. Точность определения составила $\pm 0,00003$ нм, расчета объема элементарной ячейки - $\pm 0,019$ nm^3 . Индекс степени кристаллического совершенства (СКС) определялся путем измерения полуширины Δ_1 и Δ_2 дифракционного отражения 2354, полученных на дифрактометре ДРОН-2,0 (условия съемки: $U = 30\text{ kV}$, $I = 30\text{ мА}$, $D = 200\text{ имп/с}$, $t = 5, v = 0,5^\circ/\text{мин}$, интервал $2\theta = 150-154$). За эталон принимались Δ_1 и Δ_2 кварца Кожимского месторождения. Аналитические определения параметров элементарной ячейки и съемку дифрактограмм проводили Ю.М.Новоселов (ЯИГН СО АН СССР), расчет индекса СКС по известной методике (Юргенсон, 1984) проведен автором.

Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери кварца определялись нами на оригинальной установке Г.А.Горбатова (Методы..., 1985) в ВИМСе емкостным методом в воздушной среде. Навеска фракции 0,16-0,25 мм в 100 мг предварительно вакуумировалась в воде (40 мин), затем сушилась при 105°C (30 мин), после чего вакуумировалась (30 мин) при той же температуре и медленно остынула. Такая пробоподготовка требовалась для удаления пыли, гигроскопической воды и для уменьшения влияния влажности воздуха. Установлено, что изменение влажности последнего менее, чем на 10% существенно не влияет на результаты определения диэлектрических свойств. Влажность воздуха при изменениях составляла 16-25%.

Термолюминесценция кварца исследовалась нами на установке, созданной А.И.Зайцевым (1974), принципиально не отличающейся от описанной Н.П.Лаверовым с соавторами (1961). Интенсивность свечения регистрировалась с помощью ФЭУ-29, скорость нагрева составила $0,6^\circ/\text{с}$. Коэффициент вариации ряда многократно замеренных проб колебался по температурам максимумов в пределах 2,4-3,9%, по интенсивностям - 8-13%. Навеска фракции 0,25-0,5 мм общей массой 300 мг.

Декрепитация кварца проводилась на серийном декрепитометре ВД-3, гомогенизация - на стандартной камере конструкции А.И.Базарова. Газовый анализ на хроматографе ЛХДМ-8-4 в лабораториях АЮГРЭ НГО "Якутскгеология" (А.В.Кокин) и ЯИГН СО АН СССР (Е.Р.Степанов). Часть анализов выполнена в лаборатории СВКНИИ на CHROM-5 (ЧСФР) (В.В.Ворцепинев).

Инфракрасные спектры снимались на приборе UR-20 с двустороннеполированных пластин кварца в лаборатории спектрального анализа ЯИГН СО АН СССР по методике Н.Б.Бархударян и А.М.Гребенчикова (1974) В.С.Сунгневым. Определение H_2O в кварце из микронавесок (100 мг) проводилось А.И.Калининым и Д.А.Кулагиной кулоно-метрическим методом с термическим вскрытием в лаборатории ЯИГН СО АН СССР.

Глава 2. ТИПЫ ЗОЛОТОНОСНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

В настоящее время существуют разные подходы к квалификациям гидротермальных жил, выразившиеся, с одной стороны, в определяющей роли процессов их формирования (гидротермально-метаморфогенные, гидротермально-магматогенные, т.е. плутоногенные и вулканогенные), а с другой - в условиях глубинности их формирования (глубинные, среднеглубинные и малоглубинные, т.е. близповерхностные). Известны также смешанные принципы подхода к классификации жил, в основе которых лежит либо тип процесса и уровень глубинности, либо тип процесса и температура. Кстати, температурная классификация, введенная в начале века В.Эммонсом и В.Лингреном, до сих пор является одной из самых популярных. Критический обзор классификаций жил был проведен Ф.Н.Шаховым (1964). Им справедливо отмечено, что способ отложения вещества нельзя использовать в качестве классификационной основы при делении жил, вследствие наличия в одном теле "разных способов отложения минералов". В то же время он делает вывод об основополагающей роли трещинообразования в качестве систематического критерия. Причем этот фактор рассматривается им в тесной связи с процессами минералообразования, сама классификация гидротермальных жил исходит из систематики продуктов деятельности единой постмагматической, или гидротермально-метаморфической, системы. "Если рассматривать как единое целое вызываемый горячими растворами гидротер-

мальный метаморфизм и последующее отложение растворами в трещинах минерального вещества, то следует признать, что в этом сложном процессе жилы возникают на разных участках и в разном окружении..." (Шахов, 1964. С.211). И далее им намечаются следующие группы жил: 1) образующиеся в период гидротермального метаморфизма; 2) переходные от периода гидротермального метаморфизма к выполнению осевых зон метасоматоза; 3) жилы выполнения, наложенные на метасоматиты после периода деформаций; 4) трещинные жилы за пределами зон гидротермального метаморфизма. Для более дробного расчленения Ф.Н.Шаховым было предложено использовать группировку по геохимическим формациям. Следует, видимо, признать, что, хотя мы и классифицируем продукты разных процессов минералообразования, мы имеем право на использование типов этих процессов в качестве базы для выделения основных таксонов в классификации гидротермальных жил. Поэтому прежде всего можно выделить два типа таких жил: метаморфогенный и магматогенный. Критерии различия между ними сравнительно недавно были предметом обсуждения на всесоюзном совещании в Улан-Удэ (Критерии отличия..., 1985). В магматогенном типе большинством исследователей выделяются два класса - плутоногенный и вулканогенный. В то же время в условиях конкретных геологических формаций необходимо создание классификаций, промежуточных между общими (генетическими) и частными (структурно-морфологическими). Здесь на первый план выходит возможность типизации жил на основании соотношения их с конкретными магматическими комплексами или по месту их проявления в процессе становления разных комплексов магматических пород, что используется в качестве классификационного признака второго рода. В связи с этим мы попытались создать генетическую группировку кварцевых жил Яно-Колымского пояса, анализируя изменения их особенностей в ходе эволюции рудно-магматических систем (РМС). Причем последние рассматриваются как совокупность андогенных процессов, протекающих в геологической среде, которые приводят к возникновению магматических расплавов и рудноносных флюидов, формирующих конкретные рудномагматические узлы (РМУ). Остановимся подробнее на взаимоотношениях кварцевых жил с гранитоидными образованиями.

На Северо-Востоке СССР в отложениях верхоянского комплекса, а также в многочисленных интрузивных телах разного состава и возраста широко распространены золотоносные кварцевые жилы. Боль-

шинство из них относится к формациям средних глубин (Гамянин, 1974; Амузинский, 1975; Флеров, 1976 и др.). Они являются одними из наиболее часто встречающихся геологических образований и по своим размерам замыкают ряд геологических тел (массивы-штокидайки-жилы), наложенных на осадочные породы по всему их разрезу. Значительная часть таких жил несет золотое оруденение (золото-кварцевая, золото-редкометалльная и золото-серебряная формации), но нередки также и кварцевые жилы кассiterит-кварцевой, вольфрамит-кварцевой и молибденит-кварцевой формаций. В составе жил резко ($> 90\%$) преобладает кварц. В рудных полях помимо кварцево-рудных встречаются и кварц-хлоритовые, кварц-карбонатные жилы. Взаимоотношения между ними не всегда ясны, однако в Кулино-Тенькинском антиклинарии описано пересечение безрудных жил кварца рудными золотоносными (Фирсов, 1958). Известно и более позднее образование по отношению к безрудным жилам кассiterит-кварцевых жил (Флеров, 1976). На более молодой возраст кварцевых жил с оловом и вольфрамом по отношению к золотым указывается в некоторых публикациях (Чайковский, 1960; Ивансен и др., 1975; Флеров, 1976).

Вопросы взаимоотношения магматических пород и кварцевых жил мы рассматриваем в двух аспектах. С одной стороны, это дайки и жилы, с другой - жилы и массивы гранитоидов.

Жилы - дайки. Согласно многочисленным литературным данным, а также нашим наблюдениям, на ряде месторождений и рудных полей устанавливаются как додайковые, так и последдайковые кварцевые жилы.

Наиболее отчетливо две разновозрастные группы жил выделяются в пределах рудных полей Южного Верхоянья. Ю.П.Ворониным (1970) и М.К.Силичевым (1973) здесь описаны перечисления дайками, относимыми Л.Н.Индоловым (1979) к габбро-диоритовой формации золотоносных кварцевых жил так называемого "амурского" типа (Силичев, Андриянов, 1974). Эти жилы отличаются невысокими концентрациями золота и сульфидов. В пределах Задержинского рудного поля на такие дайки накладываются и наиболее золотоносные молодые кварцевые жилы (Воронин, 1970). В этом районе рудные жилы Некданинского месторождения пересекают дайки диоритовых порфиритов и лампрофиров, в свою очередь содержащие ксенолиты жил более раннего кварца, являющиеся аналогами жил "амурского типа" (Гамянин и др., 1985). В пределах Центрально-Кольмского и

Верхне-Индигирского районов известны целые свиты даек (Среднекано-Штурмовская, Берелехская и др.), в которых локализовано прожилковое оруденение золото-кварцевой формации (Шило, 1960; Фирсов, 1963; Рожков и др., 1971). Дайки этих свит относятся к габбро-диоритовой и гранодиоритовой формациям (по Л.Н.Индолову, 1979). Наряду с этим Г.Н.Гамянином (Гринберг и др., 1970) описаны случаи непосредственного перехода даек аллитов гранитовой формации в кварцевые жилы с арсенопиритом и золотом. Таким образом, можно выделить три разновозрастные группы. Ранние жилы пересекаются дайками габбро-диоритовой формации и являются, вероятно, более молодыми, чем дайки габбро-диабазов, широко развитые в Западном Верхоянье (Амузинский, 1975). Следующая группа кварцевых жил наиболее распространена. Она моложе, чем дайки габбро-диоритовой формации (по Индолеву). В словорудных районах кассiterит-кварцевые жилы накладываются на дайки габбро-диоритовой и гранодиоритовой формаций и пересекаются дайками липаритовой формации (Индолов, 1979; Флеров, 1976). Близкое к ним положение занимают и кварцевые жилы с молибденовым и вольфрамовым оруденением, тяготеющие к дайкам гранодиоритовой формации. Таким образом, жильно-кварцевый тип золотого оруденения накладывается на дайковые формации как минимум двух типов: габбро-диоритовую и гранодиоритовую, а оловянного еще и на гранитную (по Л.Н.Индолову, 1979).

Жилы - массивы гранитоидов. Практически любой массив гранитоидов сопровождается кварцевыми жилами разного минерального состава. К сожалению, единой схемы возрастного расчленения магматизма региона нет. В то же время, несмотря на расхождения во взглядах на формационную принадлежность, возраст и генезис гранитоидов, разные исследователи отмечали чрезвычайно малое развитие пород средне-основного состава и преобладание крупных "батолитоподобных" форм слабодифференцированных гранитов и адамеллитов и мелких форм дифференцированных (от кварцевых диоритов до гранитов) гранитоидов (Некрасов, 1966; Магматизм..., 1974, 1975; Загрузина, 1977; Соболев, Колесниченко, 1979; Гринберг и др., 1993; Соболев, 1989).

Основываясь на литературных данных, а также на результатах А.Г.Бахарева и наших в конкретных РМУ (Бахарев и др., 1988; Гамянин и др., 1991), мы выделяем следующий возрастной ряд проявлений интрузивных комплексов в пределах мезозойд ВКСО:

- диорит-гранодиоритовый (иногда с монцонитоидной тенденцией);

- гранодиорит-гранитовых;
- высокоглиноземистых гранитов;
- лейкократовых гранитов стандартного и литий-фтористого типов.

Массивы диорит-гранодиоритового комплекса пересекаются жилами кварца, несущими как золотую, так олово-вольфрамовую и молибденовую минерализацию. При этом кварцевые жилы с золотоносной минерализацией арсенопиритового типа, аналогичные последней, рассекают небольшие штокобразные интрузии диоритового и гранодиоритового состава (Салтынтарский и др.). В то же время в более крупных и "кислых" массивах гранодиорит-гранитного комплекса отмечаются только золото-редкометальные жилы с висмутовой минеральной ассоциацией (Бусугуньский и Эргелихский РМУ, Улахан-Тас и др.). Для Южного Верхоянья в них устанавливаются как золото-висмутовые кварцевые жилы (Гамянин, 1974), так и кварц-кассiterитовые, кварц-молибденитовые (Индолов, 1965). В Центрально-Колымских районах с этими гранитоидами тесно связаны кварцевые жилы с вольфрамовой (Бабкин и др., 1979) и золото-висмутовой минерализацией. В Северо-Восточной Якутии к таким массивам приурочена ассоциация кварц-молибденитовых и золотоносных кварцевых с висмутом и кобальтом жил и прожилков (Некрасов, 1962; Яковлев и др., 1985; Бахарев и др., 1988). Такие жилы нередко несут комплексную молибден-вольфрам-висмут-золотую минерализацию.

Массивы "высокоглиноземистых" гранитов сопровождаются только кварцевыми жилами и прожилками с оруденением кассiterит-кварцевой формации жильного типа (Флеров, 1976) и нигде не пересекаются золотоносными жилами кварца.

Массивы лейкократовых гранитов сопровождаются, как известно, оловянным оруденением разных формационных типов (Флеров, 1976), в том числе и кассiterит-кварцевым, мелкие проявления которого установлены в Омсукчанском районе, Северо-Восточной Якутии и других районах (Чайковский, 1960; Флеров, 1976; Бахарев и др., 1988).

В то же время известны факты метаморфизма лейкократовыми гранитами золотоносных кварцевых жил. Такого же типа соотношения отмечаются Б.Л.Флеровым (1976) в оловорудных узлах, где граниты фаз II и III (гранодиориты и граниты) метаморфизуют золотоносные кварцевые жилы, наложенные на дайки фазы I. А.В.Фурсовым (1960) приводятся примеры срезания гранодиоритами массива

Улахан (поздние гранитоиды "охотского комплекса") кварцевых жил Игуменовского месторождения. П.И.Скорняковым (1949) установлен факт метаморфизма золото-кварцевых прожилков со стороны гранитоидов Хатыннахского массива, который, по мнению И.А.Загрузиной (1977), относится к комплексу молодых субщелочных лейкократовых гранитов.

В изученных нами районах и рудно-магматических узлах дайки габбро-диоритовой и гранодиоритовой формаций оказываются комагматичными гранитоидами диорит-гранодиоритового комплекса и частично гранодиорит-гранитового. Дайки же гранитовой формации наим сопоставляются с гранитоидами более поздних комплексов, с которыми золотое оруденение не связано. Таким образом, исходя из особенностей размещения, отношения к гранитоидному магматизму и сопутствующей минерализации, выделенные разновозрастные жилы можно отнести к трем группам, образовавшимся в условиях средних глубин: "додайковой", не связанной с процессами гранитоидообразования, вероятно, гидротермально-метаморфогенной; последиорит-гранодиоритовой, связанной с начальными этапами формирования гранитоидных комплексов рудно-магматических узлов; послегранодиорит-гранитовой, тесно связанной с завершающими этапами формирования гранитоидов со становлением заключительных фаз конкретных массивов в пределах рудно-магматических узлов. Кроме того, на территории ВКСО выделяется еще и четвертая группа - близповерхностные кварцевые жилы (Гамянин, Горячев, 1988). Для них установлено отчетливое наложение на все жилы этих трех групп. Они локализуются, помимо всего прочего, в роговиках и гранитах лейкогранитового комплекса верхнего мела и тесно ассоциируют с позднемеловыми дайками липаритов, покровами и субвулканическими интрузиями кислого состава. Все это позволяет нам, опираясь на указанные выше принципы классификации жил, выделить в регионе четыре группы золотоносных кварцевых жил (табл.8).

Рассмотрим коротко некоторые особенности выделяемых типов.

Прежде всего следует отметить большое сходство структурно-морфологических характеристик жил, представленных обычно непротяженными простыми линзовидными телами, реже выдержаными по падению, характерными для всех групп штокверками или зонами дробления со стержневыми кварцевыми жилами, что типично для плутоногенных и вулканогенных жил. Гораздо заметнее отличия в характере околовжильной минерализации и особенно в сопутствующих минеральных комплексах.

Таблица 8
Классификация золотоносных кварцевых жил Яно-Колымского пояса

Тип	Класс	Группа	Группа	Геохимический профиль	Рудная формация
Гидротермально-метаморфогенный	Метаморфоген-ный	"Додайковых жил", связанных с проце-сами регионального метаморфизма	"Додайковых жил", связанных с процес-сами регионального метаморфизма	Золото-квар-цевая	Золото-квар-цевая
Гидротермально-магматоген-ный	Платоногенный	Жил первого этапа, продукты отанов-ления диорит-гранодиоритового ком-плекса начального этапа формиро-вания РМУ	Жил первого этапа, продукты отанов-ления гранодиорит-гранитового ком-плекса заключительного этапа форми-рования РМУ	Золото-мышьяк-сурымный	Золото-мышьяк-сурымный
	"—"	"—"	Близповерхностные жилы, продукты тектono-магматической актизации, связанные с формированием лишарито-вой вулканической формации	Золото-серебро-сурымный	Золото-серебро-сурымный

30

31

Гидротермально-метаморфогенные (додайковые) жилы. Обычно это простые по морфологии, разные по протяженности линзовидные или плитообразные жилы. Чаще они бывают пластовыми, субсогласными, хотя нередки и секущие. Для них характерны полосчатые и массивные текстуры, в их зальбандах часто отмечается альбит, хлориты, карбонаты. Околожильные изменения крайне незначительны и отчетливо не выделяются, создается впечатление "равновесности" кварцевых жил с вмещающими породами. Состав минералов-примесей часто зависит от литологии вмещающей среды. Кроме указанных жильных минералов обычной примесью является пирит, очень редки арсенопирит, галенит, сфалерит, другие рудные минералы. Иногда в жилах отмечается и золото. Для кварцевых жил данного типа характерны хрусталеносные погреба, что дало повод В.С.Аплонову (1965) выделить в пределах региона хрусталеносную провинцию. Золотосодержащие кварцевые жилы относятся к самым древним проявлениям золото-кварцевой формации (Силичев, Андриянов, 1974) и, по мнению этих исследователей, являются основными источниками россыпной золотоносности Аллах-Юньского района. По геологическому положению и особенностям минерального состава такие жилы, вероятно, представляют собой метаморфогенно-гидротермальные образования (Гельман, 1976; Ворценев и др., 1985). О.А.Суставовым (1989) при детальном рассмотрении отдельных групп жил такого рода показано, что формирование их связано с метаморфическими преобразованиями пород, становлением кливажа и складчатости до образования роговиковых ореолов нижнемеловых гранитоидов.

Магматогенно-гидротермальные жилы. Большинство магматогенных жил образовано в два этапа минералообразования, связанных с условиями становления гранитоидных комплексов. Однако на некоторых месторождениях обоих этапов наблюдаются кварцевые прожилки, несущие серебро-полиметаллическую, сурымную и золото-серебряную минерализацию. Они секут золото-кварцевые жилы, обуславливают полиформационность золотого оруденения (Гамянин, 1982) и, соответственно, сложность формирования таких жил. Эти прожилки относятся к продуктам поздней эпохи гидротермальной деятельности и нами условно объединяются в ассоциации позднего кварца, генетически родственные вулканогенным жилам (Гамянин, Горячев, 1988).

Жилы первого этапа. Они имеют характерное узловое распределение на территории региона. Для этих жил типично появление штокверковых форм и кварцевых тел в минерализ-

ванных зонах разломов (зонах смятия и дробления). Довольно широко распространены и плитообразные секущие и субпластовые тела. Жилы данного типа образуют тесную связь с дайками и зонами разломов, в которых часто локализуются интрузии раннего диорит-гранодиоритового комплекса (Гамянин и др., 1991). Кварцевые жилы обычно массивные, полосчатые, иногда друзовидные, а в их залывандах присутствует серый метасоматический кварц. Жилы сопровождаются зонами слабых, но отчетливо проявленных окологильных изменений березитового облика, максимально развитых в штокверковых месторождениях в дайках и в минерализованных зонах дробления и смятия. Среди таких окологильных изменений практически постоянно отмечается присутствие пирита и спорадически арсенопирита, образующих вкрапленный чехол вокруг жил. Рудная минерализация гораздо разнообразнее по сравнению с жилами предыдущего типа, хотя количественно доля ее не превышает 1-5%. Наиболее типичными минералами являются пирит и арсенопирит, а также галенит, сфalerит, комплекс сульфосолей сурьмы и свинца, нередки шеелит и золото. Из жильных минералов, помимо хлоритов, типичны альбит, серпентит, гидрослюд, карбонаты. Хрустальноносные погреба нехарактерны, хотя друзовые пустоты с кристаллами молочно-белого кварца с прозрачными головками отмечаются довольно часто.

В жилах этой группы выделяются три ассоциации: раннего кварца (шеелит-арсенопирит-кварцевая), поздних сульфидов (халькопирит-сфалерит-галенитовая) и сульфосолей. Ассоциация раннего кварца представлена двумя фациальными разновидностями: серым метасоматическим кварцем, локализующимся в залывандах жил и в зонах тонко рассланцеванных пород, и молочно-белым массивным кварцем выполнения, слагающим основную массу жил. К этой ассоциации относятся рудные минералы (пирит, арсенопирит, шеелит) и нерудные (хлорит, альбит, серпентит). Они образуют контактовые оторочки жил, гнездовые и вкрапленные, часто идиоморфные скопления в кварце жил. Золотоносные (продуктивные) ассоциации поздних сульфидов и сульфоантимонитов (халькопирит-сфалерит-галенитовая и сульфоантимонитов свинца и меди) локализуются в межзерновых пустотах, в трещинах кварца, образуют в нем мелкую вкрапленность, реже гнезда. С ними связано незначительное количество мелкозернистого кварца, альбита, гидрослюд, мусковита, а также основная масса карбонатов доломит-анкеритового ряда. Ранний кварц на контакте с поздними сульфидами осветляется, становится прозрачным.

Данными жилами, относимыми к золото-кварцевой малосульфидной формации, обусловлена основная золотоносность региона. Во всех рудных узлах, где проявлены гранитоиды, жилы первого этапа помимо осадочных пород отмечаются в породах среднего и умеренно кислого состава и в дайках разного состава, относимых нами к диорит-гранодиоритовому комплексу (Гамянин, Горачев, 1991).

В жилы второго этапа объединяются кварцевые жилы, тесно связанные с этапом формирования гранитов гранодиорит-гранитного комплекса, завершающих деятельность магматических очагов, формирующих РМУ. Морфологически это непротяженные, часто прихотливые по морфологии жилы и системы жил. Они обладают массивными, шестоватыми, нередко гребенчатыми и друзовыми текстурами. Окологильные изменения проявлены отчетливо (иногда интенсивно) и выражены либо грейзенизацией, либо окварцеванием и хлоритизацией гранитоидов. В составе жил характерно присутствие калиевых минералов (мусковит, калишпат), обычно локализованных в залывандах. Часто отмечается фтор- и борсодержащие минералы (флюорит, турмалин). Количество рудных минералов обычно не превышает 5%. Среди них, преобладают минералы вольфрама, молибдена, сульфоарсениды, арсениды и сульфиды кобальта, никеля, висмута при подчиненных количествах сульфотеллуридов, теллуридов и сульфосолей висмута, свинца и меди.

В жилах этой группы минералообразование начинается с отложения вольфрамо- и молибденоносных раннекварцевых ассоциаций: кварц-мусковит-турмалиновой с вольфрамитом и молибденитом (Тугучак, Эргелях, Чистое, Чугулук), кварц-мусковитовой (калишпатовой) с шеелитом и молибденитом (Лыбинское). Они представлены в основном полупрозрачным, нередко друзовидным кварцем, в котором локализованы гнезда и вкрапленность рудных минералов. Для мусковита и калишпата характерна приуроченность к залывандам жил, а турмалин образует либо пятнистые скопления призматических и игольчатых кристаллов, насыщающих кварц, либо мономинеральные обособления в нем. Позднее отлагалась арсенопирит-леллингитовая ассоциация. Помимо указанных минералов в ее состав входят пирротин, халькопирит, никель-данаит, кобальтин, глаукодот, самородный висмут и золото (Гамянин, 1966). Правда, халькопирит выделяется в обособленную ассоциацию с поздним молибденитом, пирротином и галенитом, отлагающимся следом за вышеуказанный. Минералы обеих ассоциаций распределяются в кварце неравномерно, об-

разуя либо идиоморфные выделения, вкрашенность, реже гнезда (леллингит, арсенопирит), приуроченные к интерстициям зерен кварца. Ассоциация висмутовых минералов аналогично ассоциациям сульфоантимонитов в месторождениях арсенопиритового типа относится к поздним формированиям. По числу представленных в ней видов она наиболее разнообразна, но по распространности уступает остальным. Основными ее минералами являются самородные висмут и золото, висмутин, жозеиты A и B, остальные очень редки. Эти минералы располагаются в межзерновых промежутках ранних минералов, в друзовидных пустотах кварца, изредка образуя в нем прожилковидные обособления. Последовательность их отложения выглядит следующим образом: сульфиды и сульфосоли висмута (в т.ч. такие редкие как иксунолит), сульфотеллуриды висмута – теллуриды висмута – самородные висмут, золото, иногда мальдонит, стистаит (Гамянин и др., 1985).

Как отмечено выше, в жилах обеих групп зафиксированы прожилки "позднего" кварца с сопутствующими им минеральными ассоциациями. При этом они явно пересекают, замещают и корродируют ранние минералы жил, но встречаются спорадически. Они сложены четырьмя ассоциациями. Наиболее проявленна ассоциация хальцедоновидного кварца, широко развитая в пределах Иняли-Дебинского мегасинклиниория. Она образует жилы и прожилки в кварце раннего продуктивного этапа, часто цементирует его обломки. Иногда формирует самостоятельные жилы во вмещающих терригенных породах. Кварц криптозернистый, серый, иногда желтоватый, белый, фарфоровидный. С ним обычно ассоциируют марказит, карбонат, адуляр, а в некоторых случаях и антимонит с бертьеритом (Гамянин, 1972; Индолев и др., 1980). Остальные ассоциации сложены в основном другой, "хрусталевидной", разновидностью кварца и встречаются на разных месторождениях полиформационного генезиса (Гамянин, 1982). Разделяются они по комплексу минералов, сопутствующих кварцу: кварц-антимонитовая с бертьеритом (на золото-сурымяных месторождениях), кварц-серебро-полисульфидная с диккитом, сидеритом и другими карбонатами (на Нежданинском месторождении) и кварц-золото-галенитовая с редким фрейбергитом (на Эргеляхском месторождении). Во всех трех ассоциациях кварц представлен идиоморфозернистым шестовато-друзовым, гребенчатым агрегатом белых полупрозрачных и водяно-прозрачных кристаллов (двухвершинных – "рисовидных" кристалликов на золото-сурымяных месторождениях).

Рудные минералы локализуются либо в друзовидных полостях, либо в массе прожилков в виде вкрашенников.

Образование ассоциаций позднего кварца завершает процесс гипогенного минералоотложения на золоторудных месторождениях.

Близповерхностные (вулканогенные) жилы. Они отчетливо накладываются на все вышехарактеризованные, а также на все типы изверженных пород разновозрастных комплексов (Гамянин, Горячев, 1988). Эти жилы локализуются в роговиках и гранитах позднего мела и тесно ассоциируют с позднемеловыми-палеогеновыми (?) вулканическими аппаратами, покровами и субвулканическими интрузиями кислого состава и перекрываются базальтами палеогена. Морфологически это линзовидные жилы друзового, гребенчатого, часто полосчатого строения, реже зоны брекчий, в цементе которых преобладает полупрозрачный гребенчатый или хальцедоновидный кварц. Из жильных минералов отмечаются гидрослюды, каолинит, диккит, адуляр и кальцит, из рудных преобладают пирит, арсенопирит, сульфосоли серебра, серебро самородное (Гамянин, Горячев, 1988).

В жилах этого типа выделяется ассоциация раннего кварца (метасоматического, нередко с постепенным переходом к жильному), иногда с адуляром и ранними сульфидами – пиритом и арсенопиритом, образующими тонкую вкрашенность как в метасоматическом, так и в сферолитовом кварце жильного выполнения. Рудные минералы продуктивных ассоциаций локализуются в интерстициях и друзовых пустотах жильного кварца. Они довольно отчетливо подразделяются на ассоциацию сульфидов полиметаллов с фрейбергитом и фрейбергит-серебро-сульфоантимонитовую с золотом. Последняя образует в кварце концентрированные участки в виде линз и полос шириной до 3–4 см, где весь комплекс серебряных минералов локализован в интерстициальных пустотах кварца. Завершают процесс минералообразования кварц-карбонатная и карбонатные ассоциации, образующие мелкие просечки и маломощные самостоятельные прожилки гребенчатого кварца с кальцитом в центральных частях. На отдельных месторождениях устанавливаются постпродуктивные кварц-диккитовая и кварц-яроситовая ассоциации, цементирующие обломки руд с продуктивными ассоциациями.

Таким образом, золотоносные жилы региона характеризуются полизональностью и определенной стандартностью по минеральному составу. Постоянно выдерживающийся набор минералов, их отношение к жильному кварцу, последовательность отложения позволяют

выделить среди них два комплекса минералов: ранний (сокварцевый), кристаллизующийся в одно время с основной массой кварца, и поздний (послекварцевый), отложившийся позже кварца. К первому следует отнести минералы раннекварцевых минеральных ассоциаций, а ко второму - поздних, сульфидных, сульфоантимонитовых и теллуридо-сульфотеллуридных минеральных ассоциаций (табл.9).

Таблица 9

Минеральные комплексы золотоносных плутоногенных жил

Сокварцевый	Послекварцевый	Сокварцевый	Послекварцевый
Золото-кварцевая формация		Золото-редкометалльная формация	
Альбит	Мусковит	Калишпат	Висмутин
Хлорит	Доломит	Мусковит	Эмилектит
Серицит	Анкерит	Турмалин	Гуанахаутит
Шеелит	Халькопирит	Вольфрамит	Тетрадимит
Арсенопирит	Сфалерит	Шеелит	Бозеиты А и В
Пирит	Галенит	Мolibденит	Теллуровисмутит
	Тетраэдрит	Леллингит	Верлит
	Сульфоантимонит свинца и меди	Арсенопирит	Висмут самородный
	Золото самородное	Кобальтин	Золото самородное
		Герсдорфит	Халькопирит
		Пиротин	

В вулканогенных жилах наблюдается резкое разделение минералов (следствие ритмично-колебательного отложения (?), резких смен термодинамических параметров) на отдельные "ритмы", ассоциации, которые практически невозможно объединить в эти два комплекса, т.к. кварц довольно четко индивидуализирован.

Если принять за стандарт метаморфогенные жилы, то отличительными особенностями остальных типов жил являются следующие:

для жил последайкового типа - присутствие минералов сурьмы, мышьяка, вольфрама; преобладание натровых минералов над калиевыми, сернистых над мышьяковистыми при полном отсутствии теллуридов;

для жил послегранитных типично присутствие минералов олова, вольфрама, молибдена, кобальта, никеля, висмута: в составе жильных минералов преобладают калиевые, нередки минералы бора и

фтора; сульфоарсениды и сульфотеллуриды превалируют над сульфидами;

для близповерхностных кварцевых жил характерно преобладание минералов серебра и сурьмы, а в составе жильных минералов - глиноzemистых и калиевых минералов.

В конкретных рудных узлах можно выделить три, а иногда и все четыре группы кварцевых жил. Причем метаморфогенные жилы не обнаруживают каких-либо признаков связи с продуктами магматической деятельности (лишь в некоторых из них иногда устанавливается повышенная хрусталенность в районах влияния гранитных тел (Мельников, 1969)). Кварцевые жилы 2-й группы располагаются, как правило, на некотором удалении от магматических центров, представленных массивами гранодиорит-гранитного комплекса, формируя как бы внешний ореол. Жилы же 3-й группы сконцентрированы в интрузивной и проминтрузивной зонах. Примеры подобного рода зональности описаны для Верхней Индигирки (Гавриков, Даниловский, 1961). В магматических узлах замкнутого типа (Гамянин, 1983; Гамянин, Горячев, 1991) кварцевые жилы 2-й группы приурочены обычно к центральным частям структур, в том числе к дайкам и мелким штокам, а послегранитные жилы встречаются в границах позднего комплекса и их окрестностях в зонах магматического обрамления узлов. Такое положение в размещении кварцевых жил, тесная связь одних с ранними фазами магматического процесса, а других - с поздними позволяют предполагать генетическое родство 2-го и 3-го типов, обусловленное ходом эволюции единого магматического очага. В пользу этого свидетельствует и преемственность минерального и геохимического спектра этих жил. В то же время жилы 4-й, близповерхностной, группы обладают заметной самостоятельностью в геологическом положении, тесной пространственной приуроченностью к активизированным зонам глубинных разломов, широким развитием в перивулканических зонах крупных вулканических поясов, наложенных на структуры мезозойда, а также несколько иначе геохимическим профилем (существенно сурьмино-серебряным). Все это позволяет отнести их к образованиям этапа активизации, связанного со становлением окраинного Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Таким образом, в составе кварцевых жил Верхояно-Колымской складчатой области нами выделяется четыре группы, из которых ранняя метаморфогенная практически не золотоносная и нами рассматривается как дорудная или безрудная.

Эта группа жил с достаточной степенью детальности (морфология, текстурно-структурные особенности, генерации кварца и их характеристика) описана Л.В.Фирсовым (1959) и О.А.Суставовым (1990). Ниже приводятся материалы по изучению продуктивных золото жил магматогенно-гидротермального генезиса.

Глава 3. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КВАРЦА

I. Особенности строения жил

Многообразие геологого-структурных факторов, обусловивших формирование золоторудных месторождений, определило и существующее разнообразие текстур и структур кварцево-рудных жил. Предыдущими исследователями (Фирсов, 1974; Суставов, 1978) было проведено детальное макро- и микроскопическое изучение жильного кварца золоторудных месторождений региона. Так, Л.В.Фирсов (1974) выделяет, принимая за основу соотношение между кварцем и включениями пород, четыре типа текстур: жилы без включений (22%), жилы с полосчатой (25%), брекчевой (3%) и брекчиевидной (50%) текстурами. При этом среди жил он рассматривает и прокварцованные дайки, в основном с брекчиевидной текстурой в общей массе. В то же время сами прожилки и жилы, рассекающие дайки по разноориентированным системам трещин, имеют массивную, иногда друзовую текстуру. Без учета даек и минерализованных зон количественные соотношения выделенных типов текстур изменяются в пользу массивных и в меньшей степени полосчатых разновидностей. По Л.В.Фирсову (1974), структуры кварца представлены главными типами полигонально (полиздрически)-зернистым и шестоватым со значительным преобладанием первого. О.А.Суставов (1976, 1978) выделил два текстурных типа: массивные и полосчатые жилы; среди структур кварца им также отмечено два типа – изометрично (беспрядочно) – зернистые и параллельно-шестоватые. Если последние уверенно относятся к сингенетическим (ростовым) структурам, то отнесение к таковым изометрично-зернистых текстур оспаривается (Караго, Козлов, 1988). Охарактеризованные нами группы магматогенно-гидротермальных жил совпадают с выделенными О.А.Суставовым (1987) формациями жильного кварца, однако с нашей точки зрения, постепенных переходов между ними быть не должно и генезис их трактуется нами иначе.

Изучение многочисленных штуков и полевые наблюдения показали, что максимальным распространением в жилах данных групп пользуются массивная, полосчатая и брекчевые текстуры, а подчиненным – друзовая, гнездовая и вкрапленная. Характер текстур, определяется соотношением кварца и количеством обломков и реликтов вмещающих пород в жиле, реже – соотношением кварца и рудных минералов. Наиболее распространенной является массивная текстура золото-кварцевых жил. Она представляет собой неравномернозернистый, без признаков геометрического отбора агрегат кварцевых индивидов. В шлифах и под бинокуляром вдоль контактов мощных жил прослеживается узкая полоска мелкозернистого кварца, образующего как бы "зону закалки" с довольно резким переходом в крупнозернистый агрегат. В случае наличия небольшого количества рудных минералов в массивном кварце появляются вкрапленные и гнездово-вкрапленные текстуры (рис.1). Следует отметить отсутствие приуроченности скоплений рудных минералов к определенным частям жилы. В частности, это касается арсенопирита, шеелита, вольфрамита, крупные скопления которых фиксируются как в зальбандах, так и в центральных частях жил. Часто в массе жильного кварца наблюдаются обломки вмещающих пород, насыщающие зальбандовые участки жильных тел и образующие брекчевую текстуру. Ее разновидностью является пятнистая (реликтовая) текстура, возникшая в результате неполного замещения таких обломков. С процессами замещения, вероятно, связана и большая часть широко развитых полосчатых текстур, а меньшая часть – с процессами выполнения, на что указывает существование ориентированной гофрировки полосок пелитового материала, наличие "подвешенных" обрывков лент алевролитов и аргиллитов в жилах, локализованных в песчаниках (рис.2). Весьма своеобразное строение имеют кварц-турмалиновые жилы Эргеляхского и Чугулукского месторождений, где изометрично-зернистая масса кварца буквально насыщена разноориентированными тонконогольчатыми кристалликами турмалина, образующими в нем пятнистые скопления. Друзовые текстуры пользуются незначительным распространением в жилах I-го этапа, локализованных, в основном, в изверженных породах. В жилах 2-го этапа роль их повышается.

Текстурный рисунок жил иногда дополняется текстурами пересечения. Здесь следует подчеркнуть, что вообще текстуры пересечения для золотоносных жил региона не характерны и в большинстве случаев являются ложными (Фирсов, 1959). Это связано, как правило, с одновременностью процессов формирования золотого оруде-

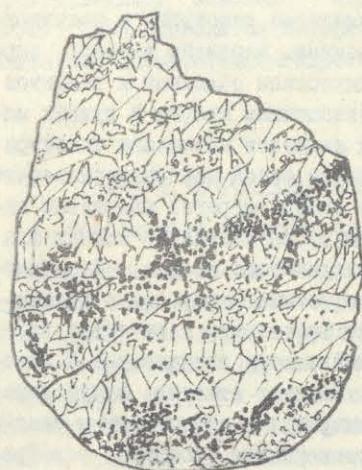


Рис.1. Вкрапленная текстура кварцевой жилы, обусловленная сочетанием блеклой руды (черное) и кварца (белое). Месторождение Школьное, уменьшено в 2 раза

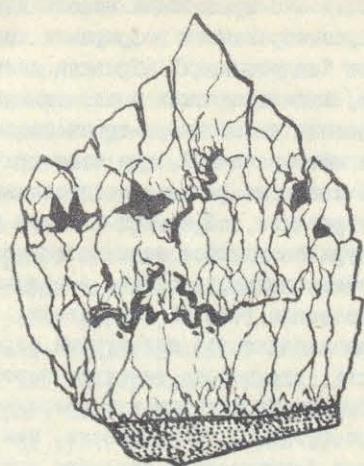


Рис.2 Гофрированные обрывки алевролитов (черное) в массе кварцевой жилы (белое), локализованной в песчаниках (серое, внизу). Месторождение Имтачан, уменьшено в 1,5 раза

нения (Гамянин, 1972) и слабым проявлением в пределах месторождений золота поздних этапов гидротермальной деятельности. Текстуры пересечения обусловлены взаимоотношениями золотоносного кварца с поздним, несущим иную минерализацию. К таким текстурам относятся прожилковая текстура пересечения (рис.3) и гребенчато-друзовая, когда кристаллы позднего кварца как бы нарастают на стенки трещин в раннем молочно-белом кварце (рис.4).

Преобладающим типом текстур близповерхностных жил являются брекчевые, друзово-гребенчатые, реже полосчатые и массивные. Полосчатость обычно подчеркивается либо разной зернистостью кварца (переходами от кристозернистого к мелко- и среднезернистому), либо чередованием микрослойков сульфидов, сульфосолей и, что значительно реже, адуляра. Типичны кокардовые текстуры обрастания обломков измененных пород сферолитовыми или гребенчатыми агрегатами кварца, содержащими тонкораспыленный рудный материал. Обычны также прожилково-вкрапленные текстуры. В целом же в сравнении с типичными текстурами близповерхностных жил в вулканитах Охотско-Чукотского пояса (Сидоров, 1971) наблюдается незначительное развитие ритмично-полосчатых текстур и преобладание брекчевых и гребенчато-друзовых.

2. Генерация кварца

Плутоногенные жилы. Макроскопические и микроскопические наблюдения позволяют выделить три генерации кварца.

Кварц - I наиболее распространен, слагает 90-95% объема рудных жил обеих групп. Он подразделяется на две фациальные разновидности - метасоматическую и выполнения. По данным Г.Н.Гамяниной и нашим наблюдениям, между ними отмечаются как постепенные переходы, так и секущие границы с "размытым" нечетким контактом (так называемые ложные пересечения - "следы трещин", по Н.В.Петровской, 1956). Метасоматический кварц имеет пятнистую окраску (от темно-серой, почти черной, до серовато-белой) и широко развит на месторождениях минерализованных зон дробления, где образует лентовидные тела различной мощности и протяженности. Для жильных месторождений метакварц менее характерен, формирует в них зальбанды или развивается в местах их выклинивания. Он выделяется мелко (0,05-0,1 мм) неравномерно-зернистым строением, насыщен реликтами углистого и глинистого вещества, листами серицита и тонкой вкрапленностью пирита и арсенопирита. Эти примеси и придают ему серую и темно-серую неравномерную

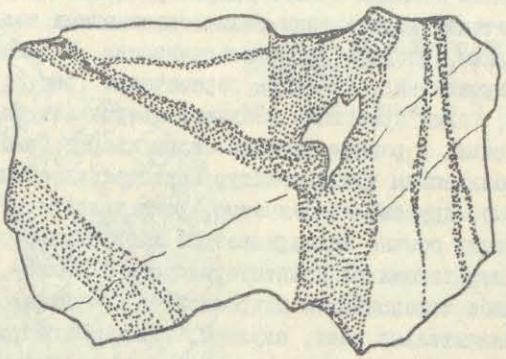


Рис.3. Текстуры пересечения раннего плутоногенного кварца (белое) прожилками позднего хальцедоновидного кварца-III (серое, черное). Месторождение Хангас, $\times 1,5$

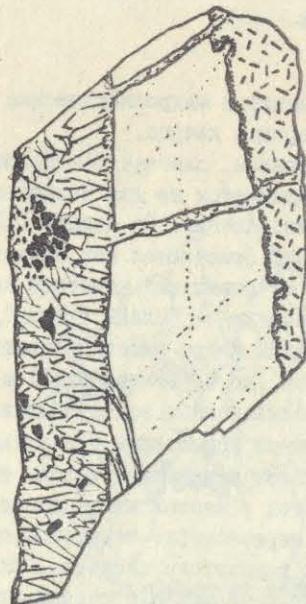


Рис.4. Гребенчато-друзовый кварц-III пересекает ранний кварц плутоногенных жил. Месторождение Школьное, I:I

окраску. Кварц выполнения обычно молочно-белый максимально распространен во всех типах месторождений. По строению и структурным особенностям подразделяется на три типа: изометрично-зернистый, шестоватый и монокристальный. Массивный изометрично-зернистый кварц обладает неравномернозернистым строением (от крупнозернистого с размером зерен 10–15 мм до мелкозернистого – 0,1 мм) с аллотриаморфно-зернистой структурой, в некоторых случаях переходящей в гипидиоморфно-зернистую.

Просмотр полированных пластинок массивного кварца под бинокуляром позволил наблюдать в нем большое количество микрощелей (доли миллиметра) с четко выраженной интерстициальной формой (рис.5). Границы зерен обычно ровные, заливообразные, иногда заузенные. Этот кварц слагает практически все более менее мощные (больше 10 см) прожилки и жилы. В жилах 2-го этапа преобладает стекловидный полупрозрачный кварц (Суставов, 1978, 1987) с меньшей степенью замутненности часто серым, своеобразным льдистым цветом. Шестоватый кварц слагает маломощные прожилки штокверков в дайках. Именно он оставляет "следы трещин" в метасоматическом кварце. Для этой разновидности характерна гипидиоморфно-зернистая структура с субпараллельной ориентированностью зерен, вытянутых по оси "С". В массивном кварце мощных жил 1-го этапа нередко отмечаются занорыши с монокристаллами (друзовым кварцем), локализующиеся в различных частях жилья. Как правило, это мелкие, не больше первых десятков сантиметров полости, выполненные кристаллами молочно-белого кварца, иногда имеющего прозрачные головки. Зернистость основной массы кварца жилья в таких случаях постепенно увеличивается от массивного кварца к кристаллам друзовой полости. При этом происходит укрупнение его зерен до гигантозернистого и перерастание в кристаллы (относительное удлинение больше двух) размером до 5–10 см. Наблюдается, таким образом, постепенный структурный переход: изометрично-зернистый – шестоватый – монокристаллический кварц. Такие занорыши типичны для жилья в осадочных породах. Следует отметить относительно широкое распространение произвольно-шестоватых (друзовых) структур в жилах, локализованных в изверженных породах. Здесь отмечаются структуры с признаками геометрического отбора (рис.6) и гребенчато-шестоватые (рис.7), особенно в осевых частях мелких прожилков. В некоторых случаях в жилах, локализованных в осадочных толщах, встречается неоднородно-зернистое строение агре-

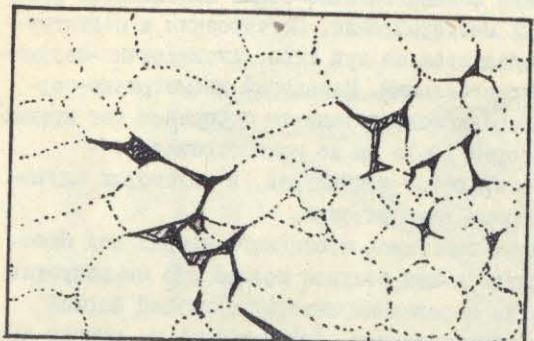


Рис.5. Интерстициальные микропустоты в массивном кварце. Месторождение Утинское, Англия, $\times 25$

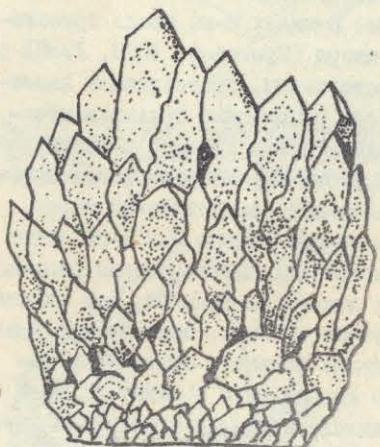


Рис.6. Строение кварцевой жилы с признаками геометрического отбора. Месторождение Дорожное, уменьшено в 2 раза

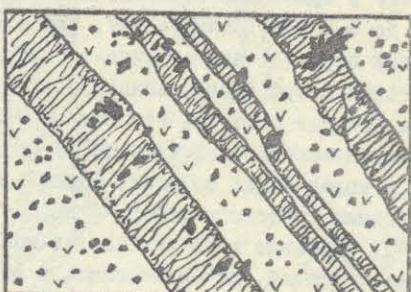


Рис.7. Прожилки шестиватого кварца в дайке. Месторождение Штурмовское, 1:1

гатов кварца, выражавшиеся в "слоях" кварца с резко различной ориентировкой его индивидов (рис.8, а) или в своеобразном объемно-сферолитовом строении агрегата таких жил (рис.8, б), которые трактуются нами как следствие многозародышевого формирования индивидов в перенасыщенном вязком растворе. Более того, весьма интересное строение имеют агрегаты кварцевой жильи-I месторождения Школьного (рис.9), где отчетливо наблюдается разнонаправленный рост индивидов кварца, труднообъяснимый с позиции более позднего преобразования индивидов кварца. Такой рисунок агрегатов, на наш взгляд, отвечает кристаллизации кварца из полимерных высоконконцентрированных растворов, что было довольно детально рассмотрено В.М.Гришиним и З.Г.Зломановой (1971) на примере жильного кварца Казахстана.

Электронно-микроскопическое изучение сколов кварца показало, что массивный кварц-I жил обеих плутоногенных групп обладает сходной морфологией сколов. Обычно это структуры с нечетко выраженной бугорчатой или ямчатой поверхностью (рис.10 а), обусловленные неясными по форме индивидами, как бы погруженными в бесструктурную массу, иногда отмечались чешуеподобные структуры (рис.10 б). Такие образования были описаны для кварца золоторудных месторождений Северного Казахстана (Гришин, Зломанова, 1970). Этими исследователями они отнесены к проявлениям метаколлоидной природы. В массивном кварце с такой "метаколлоидной" структурой очень редко встречаются обособления криптокристаллического кварца, представляющего собой раскристаллизованные остатки колломорфного кремнезема (?). По морфологии сколов кварц-I плутоногенных жил 2-го этапа несколько отличается от кварца жил I-го этапа. В частности, он чаще имеет слоисто-ступенчатую поверхность сколов, иногда рассеченную трещинками. В некоторых случаях в этом кварце наблюдались своеобразные группы пустот, окруженные неясно выраженным винтообразными ступенями сколов (рис.10 в), при большем увеличении имеющие микрогоризированную поверхность (рис.10 г).

Особенностью кварца-I является насыщенность его мельчайшими пустотами (рис.11 а), большая часть которых относится к газово-жидким включениям. Последние под электронным микроскопом выделяются характерными светлыми каемками (рис.11 б) (Доломанова и др., 1972). Именно эти включения придают кварцу такую молочно-белую окраску и неравномерную замутненность. Включения распола-

Рис.8. Неравномернозернистое строение кварцевой жилы. Месторождение Светлое, жила Мощная: а - полосовидные агрегаты среднезернистого равнозернистого кварца чередуются с полосами шестоватого кварца, уменьшено в 1,5 раза; б - объемно-сферолитовое строение жилы, 1:1

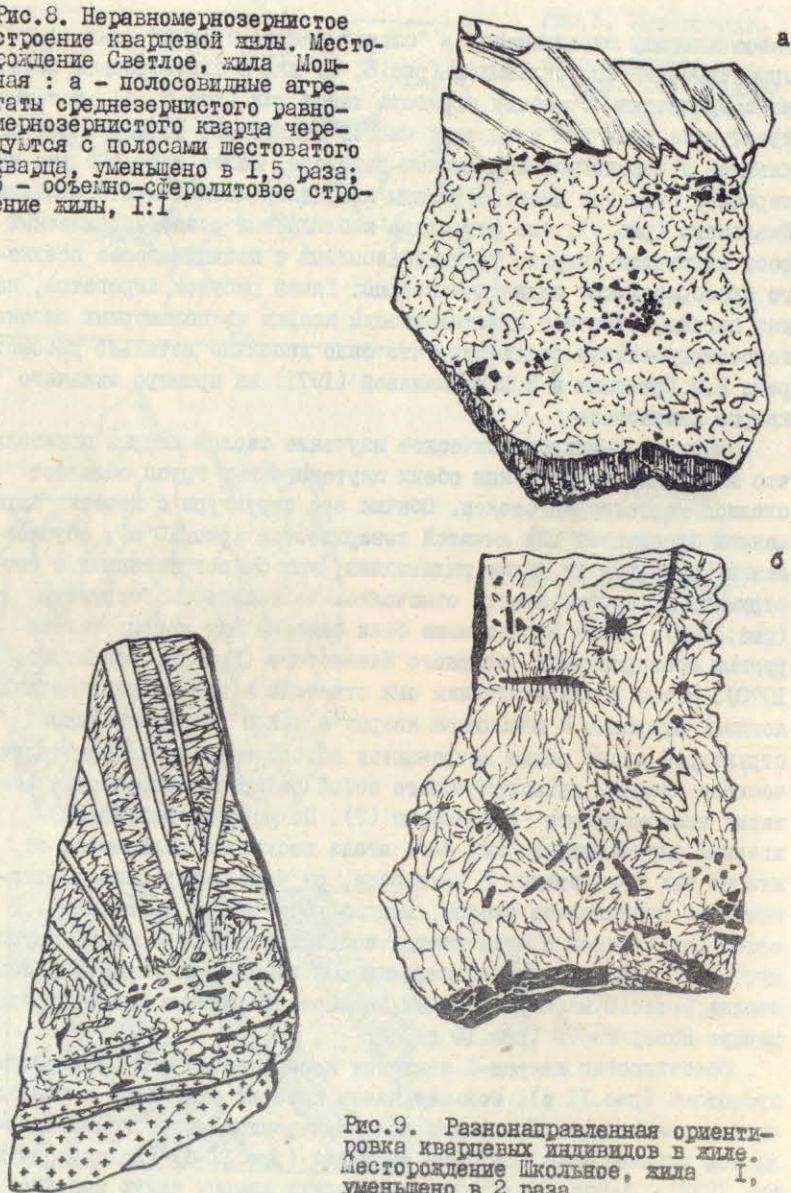


Рис.9. Разнонаправленная ориентировка кварцевых индивидов в жиле. Месторождение Школьное, жила I, уменьшено в 2 раза

гаются неравномерно, иногда локализуясь в виде сеток или тонких полосок, пересекающих границы зерен кварца.

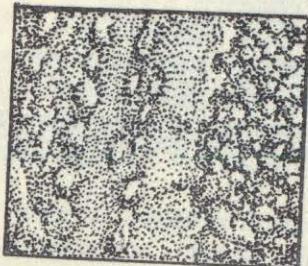
По мнению О.А.Суставова (1988), такие включения надо относить к субмикроскопическим включениям, которые он считает "преподущественно вторичными", связанными с процессами деформации. Нами же такие включения отмечаются и в практически недеформированном кварце, что свидетельствует о первичной природе, по крайней мере, части из них.

Кварц-I испытал довольно интенсивный катаклаз, который проявился в виде деформационных структур сжатия - морщинистых, линзовидно-блочных (с проявлением двойников давления) - и структур мозаично-блочного расщепления зерен с переходом в грануляцию. Наряду с этими крайними формами проявления катаклаза наиболее широко распространены кварц с волнистым угасанием, обусловленным общим невысоким сдвиговым напряжением (Carter et. al., 1964). Для кварца-I жил месторождений разных структурно-морфологических типов устанавливается определенная зависимость распределения разных по характеру структур деформаций (табл.10) (оценка проводилась по принципу "есть-нет" для каждого шлифа). Полученные результаты указывают на преобладание деформационных структур сжатия и значительно большее их распространение в месторождениях штокверков и минерализованных зон дробления. В целом же широкое развитие деформационных структур в кварце-I указывает на формирование его в условиях приложения внешних напряжений.

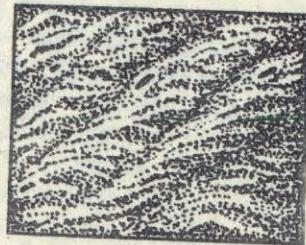
Таблица 10

Распространенность структур деформации в кварце-I
магматогенно-гидротермальных жил месторождений
разных структурно-морфологических типов (%)

Морфологический тип месторождений	Недеформированный кварц	Структура деформации		
		линзовидно-блочная	мозаично-блочная	грануляции и перекристаллизации
Шильный (227 шлифов)	41	19	28	12
Штокверковый (132)	17	37	28	18
Зон дробления (287)	27	42	20	11

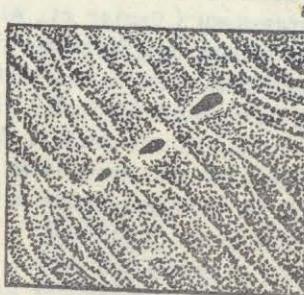


a

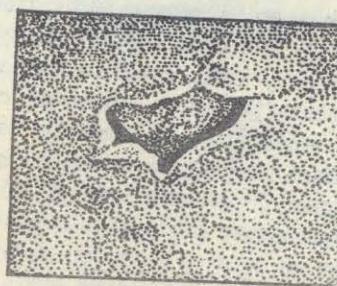


b

Рис.10. Поверхности сколов кварца шлутоногенных жил раннего этапа: а - нечетко выраженная, ямчатая, $\times 10\ 000$ раз; б - чешуеподобные структуры скола, $\times 2000$



a

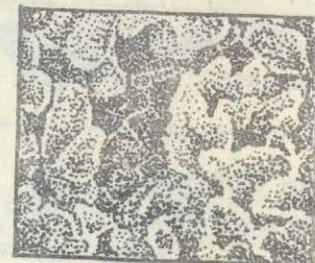


б

Рис.11. Газово-жидкие включения в кварце: а - $\times 3000$, б - $\times 6000$



в



б

Рис.12. Метакolloидная структура поверхности скола халцедонового кварца-III. Месторождение Дагалас: а - $\times 2000$, б - $\times 6000$

Кварц-II распространен весьма незначительно (1-3%) и представлен мелко-, средне-(0,1 - 1 мм) неравномерно-зернистым агрегатом. Изометрические зерна его чаще всего выполняют межзерновые промежутки в кварце-I, иногда нарастая на него и развиваясь вдоль трещин (?) в виде полосок, имеющих с одной стороны четкий контакт, а с другой - неясный постепенный переход в кварце-I. Иногда кварц-II образует метакристаллы, ассоциирующие с мусковитом и рудными минералами, выполняющими межзерновые промежутки в раннем кварце. Нередко кварц-II встречается в виде мелких бескорневых регенерационных (?) просечек в кварце-I, к ним часто приурочены скопления сульфосолей. Кварц таких просечек близок к кварцу прозрачных каемок, развивающихся вдоль контактов кварца-I с сульфосолями и поздними сульфидами. Двойственность взаимоотношений между обеими генерациями кварца, практическая неотличимость их микроскопически не позволяют считать кварц-II продуктом стадии минералообразования. Подобное положение свидетельствует скорее об образовании кварца-II из тех же растворов, что и ранний кварц, на фоне внутрирудных тектонических деформаций, нарушавших процесс кристаллизации основной массы кварца. В пользу этого говорит и меньшая деформированность его индивидов.

В то же время кварц-II резко отличается от проявленного на ряде полигранитовых месторождений кварца-III, относимого нами к группе вулканогенных жил.

В ряде шлутоногенных жил обеих групп, в пределах полигранитовых месторождений встречается поздняя генерация кварца-III, связанная с этапом тектоно-магматической активизации и несущая рудную нагрузку.

Кварц-III представлен халцедоновидной и хрусталевидной разновидностями. Халцедоновидный кварц наиболее широко распространен в зонах Альча-Тарынского и Нерского глубинных разломов. Это кристаллизованный, реже мелко-среднезернистый кварц, иногда образующий шестоватые и сферолитовые агрегаты, обычно рассекающие кварц-I и цементирующие его обломки. Нередко он слагает изломочные жилы алевролитов и даек гранодиорит-порфиров. Хрусталевидный (водяно-прозрачный) кварц интенсивно развит в пределах полигранитовых месторождений. Он образует тонкие прожилки и друзовые полости, не превышающие первые сантиметры (см.рис.3, 4). В некоторых случаях наблюдается цементация этим кварцем обломков раннего кварца. Для хрусталевидного кварца типична равномерно-зернистая, илиморфно-зернистая структура. Вне пределов ран-

них жил он образует жилы гребенчатого кварца, развитые на Эрглахском месторождении, секущий характер которых по отношению к продуктивному кварцу установили Г.Н.Гаминин с соавторами (1971) и О.А.Суставов (1978). К этой же разновидности кварца-II нами относится и "рисовидный" кварц золото-сульфидных месторождений, образованных в результате наложения аммонитовой минерализации на ранее сформированную золото-кварцевую. По данным электронно-микроскопического изучения кварц-II характеризуется метаколлоидными структурами (рис.12), типичными для кварца ранних генераций. Поздний кварц-II практически не сохраняет следов деформаций, обладает нормальным редко волнистым погасанием. Вдоль контактов прожилков кварца-II в раннем кварце всегда образуется зона преобразованного (?) прозрачного кварца (рис.13), чем эта генерация и отличается от кварца-II.

Вулканогенные жилы. В рудных телах близповерхностных месторождений выделяются три генерации кварца.

Кварц-I распространен максимально. Как и в глубинных месторождениях, здесь выделяются его две разновидности: метасоматический кварц и кварц жильного выполнения. С молочно-белым полупрозрачным друзевидным кварцем жильного выполнения серый метасоматический кварц имеет нередко постепенные переходы или выступает в качестве загравочных центров сферолитов (до 10 см) кварца с нерезкими границами между ними. Мелкозернистый метасоматический кварц иногда брекчируется и цементируется более крупнозернистым шестоватым кварцем выполнения. В отдельных рудных телах отмечается цементация обломков вмещающих пород кристозернистым серым, белым халцедоновидным кварцем выполнения жил. В некоторых случаях (Аид) крупнозернистый кварц обрастания имеет признаки первичных гелей: для него типичны реликты коломорфно-полосчатого строения, сферолиты, зонально-расщепленные кристаллы.

Кварц-II слагает обычно маломощные самостоятельные жилы и прожилки. Он представлен мелкозернистым агрегатом, нарастающим на гребенчатый кварц-I или секущим его в виде микропросечек.

Кварц-III - постпродуктивный, образует прожилки и цемент брекчий ранних ассоциаций. Он формирует микрозернистый агрегат совместно с диккитом или ярозитом (зерна в сотые и тысячные доли миллиметра) в соотношениях от 2:1 до 1:4.

3. Взаимоотношения кварца с другими минералами жил

В жилах I-й группы для сокварцевых минералов в возрастных соотношениях с кварцем отмечается некоторая неопределенность. Такие минералы как альбит, хлорит и серицит локализуются обычно в зальбандах жил, образуя либо оторочки идиоморфных кристаллов (альбит), либо "червеобразные" обособления, как бы плавающие в кварцевой матрице (хлорит). Для серицита типично развитие вдоль реликтовых прослоев вмещающих пород и границ зерен кварца-I. Рудные минералы этой группы слагают гнезда и вкрапленность, рассеянные в массе кварца-I. Для них свойственны идиоморфные формы выделений, но часто растигнутые и склеритированные тем же кварцем (рис.14). Кварц-I в этом случае на контакте с арсенопиритом осветляется, размер его зерен уменьшается. В то же время отмечаются и обратные соотношения этих минералов, когда арсенопирит в виде кристаллов (до 1 см) отлагается в занорышах среди кристаллов кварца-I (рис.15, а). Подобные же взаимоотношения отмечены между кварцем и шеелитом, образующим как идиоморфные выделения в зальбандах жил и прожилков, так и кристаллы в друзовых пустотах кварца-I.

Минералы 2-й группы отлагались в многочисленных интерстициях между зернами кварца-I и II, в трещинах кварца-I и в друзовых пустотах. При этом галенит-сфalerит-халькопиритовая и сульфоантимонитовая ассоциации несколько различаются по своему положению. Минералы I-й ассоциации не имеют четко выраженных секущих взаимоотношений с кварцем. Для них более характерно гнездовое, вкрапленное интерстициальное положение в нем, тесная пространственная связь с арсенопиритом. В отличие от последнего, они больше приспособлены к строению кварцевого агрегата, часто выполняя интерстиции между его зернами или же нарастания на его кристаллы в занорышах (рис.15, б). Минералы же группы сульфоантимонитов в основном имеют секущее положение, приурочены к мелким трещинам и зонкам трещиноватости в кварце-I, а также выполняют друзовые пустоты и отлагаются по межзерновым границам (рис.16), тесно ассоциируя при этом с мусковитом, доломитом-анкеритом. Довольно часто в виде игольчатых метакристаллов они протыкают кварц-I. Просмотр пластинок ишлифов показывает, что игольчатые выделения сульфосолей иногда имеют искаженную коленчатую форму (рис.17), связанную, вероятно, с условиями их роста. Сульфосоли тесно ассоциируют с кварцем-II, образуя с ним раз-

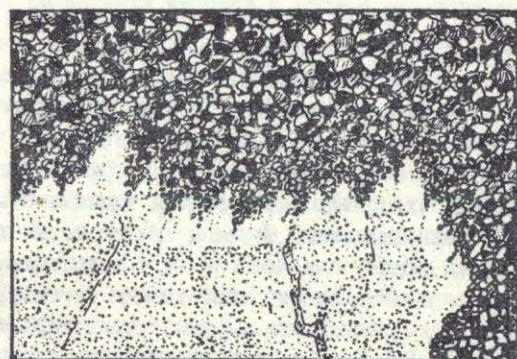


Рис.13. Коррозионные границы между кварцем-I и кварцем-II (криптокристаллический агрегат), шлиф, николи +. Месторождение Ханталас, $\times 42$



а

Рис.14. Иллюмorfичные кристаллы арсенопирита (а); раздробленные и скементированные (б) кварцем-I. Месторождение Утинское, анишлиф, $\times 25$

б

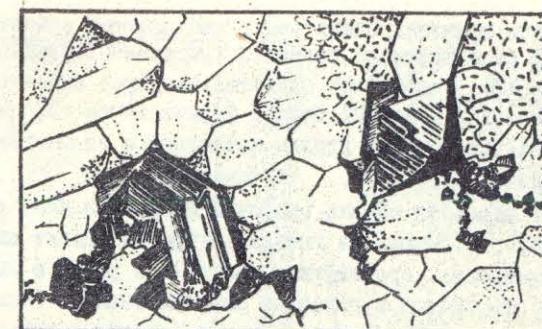
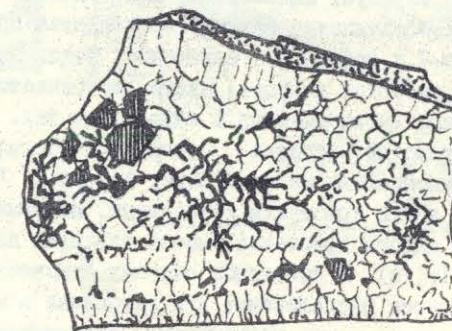


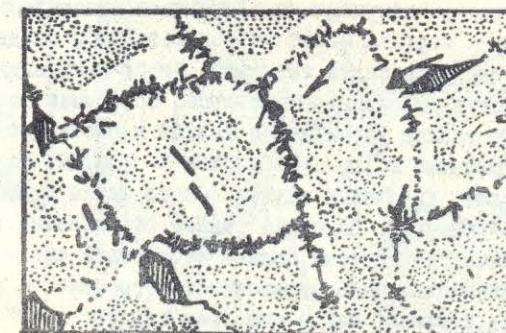
Рис.15. Кристаллы арсенопирита (справа вверху) и сфалерита (слева) в мелких друзовых пустотах среди кварца-I. Месторождение Нежданинское. Увеличено в 2 раза



а

Рис.16. Приуроченность сульфосолей свинца к трещинам и межзерновым границам раннего кварца-I: а - месторождение Утинское, дайка № 6, уменьшено в 2 раза; б - месторождение Оглер, анишлиф, $\times 25$

б



ные идиоморфные границы. Очень редко наблюдаются ориентированные включения буланжерита в головках кристаллов молочно-белого кварца-I (рис.18), однозначно свидетельствующие об отложении сульфосолей в заключительный период формирования кварца-I.

Для ранних жил поздней группы наблюдаются во многом сходные взаимоотношения с кварцем-I. Установлено, что мусковит, калишпат образует обычно оторочки кварцевых жил, а мусковит, кроме того, формирует и гнезда внутри кварцевых жил, располагаясь в межзерновых промежутках кварца-I и редко в виде мелких (1-2 мм) сферолитов в головках его кристаллов. Такое же положение занимают молибденит, вольфрамит, шеелит и турмалин. Молибденит - весьма редкий минерал, отмечается в виде небольших сферолитовых выделений, хаотично разбросанных в массе кварца, или тонких листовых пластинок (чешуек). Вольфрамит практически всегда образует идиоморфные пластинчатые кристаллы в кварце. При этом в большинстве случаев наблюдается приспособление зерен кварца-I к формам его выделения. Шеелит помимо отложения в друзовых пустотах кварца-I иногда встречается в качестве чечевицеобразных вкраплениников в зальбандах жил. Для турмалина характерно пятилистый рисунок скоплений тонконогольчатых его кристаллов, насыщающих местами зерна кварца-I, "плавающих" в нем. Нередко такие кристаллы искривлены, недломаны, причем отдельные части одного кристалла бывают сдвинуты на границах зерен кварца (рис.19, а). В некоторых случаях отмечается ориентированное струйчатое расположение игл турмалина в массе кварца. Микроскопическое изучение надломанных, "деформированных" игл турмалина показывает, что чаще всего кварц, их вмещающий, не несет следов деформаций. При переходе их из одного зерна кварца в другое отмечается искривление с надломом кристаллов турмалина (см.рис.19, а). Такая картина может объясняться либо поздним ростом со смещением метакристалла турмалина, либо искривлением и деформацией его растущими индивидами кварца. Последнее возможно при образовании кристаллов турмалина в вязкой и плотной среде с последующими деформациями их при кристаллизации кварца. Наличие изогнутых кристаллов турмалина внутри одного зерна кварца является тому подтверждением. На более раннее образование турмалина указывает также практически полное отсутствие его в друзовых пустотах и одинаковая деформированность его кристаллов и зерен кварца-I в тех случаях, когда они были подвергнуты воздействиям внешних сил внутренних деформаций, предшествовавшим отложению поздних



Рис.18. Включения буланжерита по зонам роста кристалла кварца-I. Месторождение Тунгусское $\times 10$

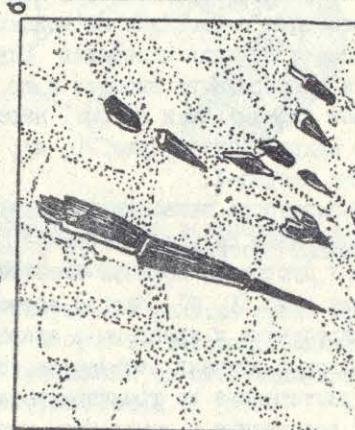


Рис.19. Турмалин в жильном кварце:
а - деформация игл турмалина при образовании индивидов кварца-I. Месторождение Чугулук, шахты николай +, николай 90; б - катаклизм зерен турмалина и кварца-I. Месторождение Эргеш, шахты николай +, николай 42

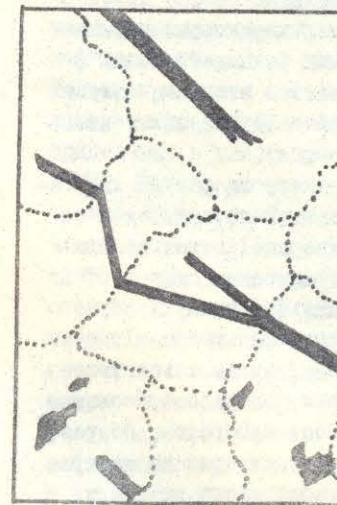
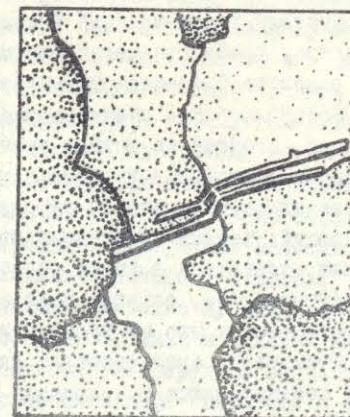


Рис.17. Искривление игл турмалина в массивном кварце-I. Месторождение Блэр, Англия. $\times 25$



минеральных ассоциаций (рис.19, б). Положение сульфоарсенидной минерализации относительно времени образования кварца-I довольно определено. Нами наблюдалась каплеобразные выделения пирротина и халькопирита в головках прозрачных кристаллов кварца-I, отложившиеся по слоям их роста. В то же время арсенопирит и леллингит часто образуют веретенообразные выделения, иногда ориентированные по простиранию прожилков и локализованные преимущественно в интерстициях зерен кварца. Следовательно, минералы этой ассоциации отлагались на поздних ступенях образования кварца-I. Комплекс поздних минералов (сульфотеллуридов и теллуридов висмута, самородного висмута и др.) выполняет изолированные межзерновые промежутки в кварце, нередко локализуясь в рассекающих его микротрешинах (рис.20, а), т.е. эти минералы образовались позже кварца-I.

Золото по отношению к раннему кварцу в жилах обеих групп занимает явно секущее положение. Оно часто локализуется в межзерновых пустотах, образуя амебообразные, нередко каркасовые выделения (рис.20, б). Иногда встречаются его каплевидные выделения, приуроченные к трещинам в кварце или границам его индивидов. В некоторых случаях отмечаются тонкие листоватые образования, как бы растирающиеся по границам зерен кварца. Для золота типична тесная ассоциация с комплексом поздних минералов. Микроскопически его выделения рассекают арсенопирит и цирит.

Таким образом, для золото-кварцевых жил характерно широкое развитие массивных текстур со своеобразными зонами "закалки"; присутствие "подвешенных" обломков алевролитов в жилах, секущих песчаник, свободное расположение заноршей в объеме жилья; наличие реликтов "метаколлоидных" структур кварца.

Зафиксировано: нечеткое разделение рудного кварца на две генерации, отсутствие резких границ (постепенный переход) и в то же время обрастание кварцем-II индивидов кварца-I, т.е. практическая одновременность и параллелизм в образовании кварца обеих генераций; тесная ассоциация кварца-II с сульфосолями, которые начали отлагаться в конце образования кристаллов кварца-I; резко коррозионное, секущее положение кварца-II, свидетельствующее об образовании его из растворов иного этапа минералообразования.

Отмечается существование двух комплексов минералов, по разному соотносящихся с кварцем-I (с одной стороны, ранние минералы имеют черты до-, со- и послекварцевой кристаллизации, а с другой - поздние минеральные ассоциации, отлагавшиеся явно по-

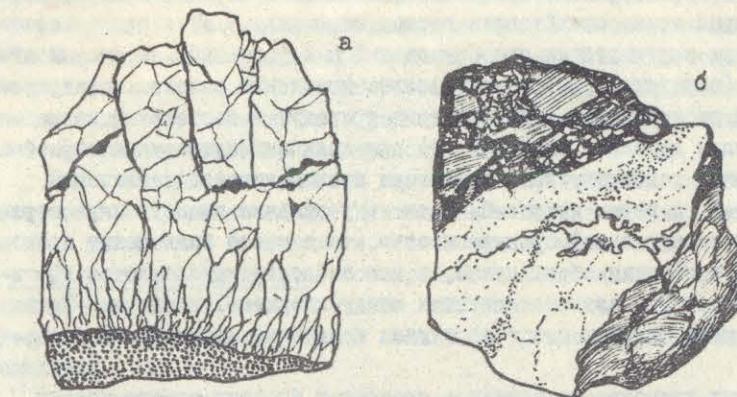


Рис.20. Положение золота в кварце-I плутоногенных жил: а - приуроченность золота и сульфотеллуридов висмута к трещинкам в кварце-I. Месторождение Дыбинское, х 2, б - "лапчатое" выделение золота в кварце-I. Месторождение Хангас, х 2

ле кристаллизации основной массы кварца-I); наличие среди кристаллов турмалина, локализованных в кварце-I, деформированных, разорванных индивидов без следов деформаций во вмещающем кварце, а также аналогичных выделений сульфосолей.

Все эти факты свидетельствуют в пользу длительности и непрерывности образования продуктивной минерализации в пределах изученных месторождений, а также указывают на кристаллизацию основной массы кварца из вязких плотных растворов типа гидросолей. Только при росте в вязкой среде могут происходить последующие изменения формы кристаллов турмалина. Вообще характер его распределения в кварце похож на кристаллизации из геля (Гениш, 1973). Именно ростом кристаллов арсенопирита в гидрогеле кремнезема можно объяснить наличие в кварце-I прозрачных каемок вдоль контактов его с арсенопиритом. Так, по данным Г.Гениша (1973), при росте кристаллов в геле на контактах с ним образуется зона (полость) с раствором. Вероятно, прозрачные полоски в кварце и возникают при раскристаллизации такого "гидрогеля" в кристаллический кварц. Причем раскристаллизация происходила, скорее всего, одновременно с образованием рудных и жильных минералов первого "сокварцевого" комплекса. Внутрирудные подвижки и деформации нарушили "спокойное" преобразование гидрогеля в кварц и приводили к возникновению второй генерации, минералы которой могли отлагаться и из менее концентрированных "остаточных" растворов.

волов. Таким образом, процесс образования генераций продуктивного кварца можно представить в следующем виде : а) при отсутствии внутрирудных преобразований и деформаций: зернистый агрегат (вероятно, при раскристаллизации вязких высококонцентрированных растворов, имеющих гелевую природу) - шестоватый кварц - кристаллы друзовых полостей; б) при наличии внутрирудных преобразований тектонического характера происходит кристаллизация кварца-I, а затем кварца-II. Поскольку жильные полости характеризуются значительной протяженностью, то в массе жилы может происходить сочетание обоих путей, и как следствие наблюдается противоречивость во взаимоотношениях между кварцем-I и кварцем-II, а также между обеими его генерациями и другими жильными минералами.

Нами проводилось изучение состава и свойств только кварца жильного выполнения (кварц-I) и позднего кварца (кварц-III). Это, с одной стороны, связано с преобладанием кварца-I в рудных телах изученных месторождений и резким отличием (по положению) от него кварца-III, а с другой - с простотой выделения мономинеральных проб этих разновидностей. Генетическое единство продуктивного кварца-I и кварца-II, а также незначительная доля последнего в жилах позволяют пренебречь его влиянием на характеристики кварца-I. Невозможность чистой отборки монофракций метасоматического кварца заставила нас отказаться от его изучения на данном этапе исследований.

Таким образом, в последующих главах приводятся сведения по составу и свойствам кварца-I и кварца-II.

Глава 4. СОСТАВ И СВОЙСТВА ЗОЛОТОНОСНОГО ЖИЛЬНОГО КВАРЦА

I. Состав кварца

Особенностью кварца как минерала является отсутствие в нем макроколичеств других элементов, кроме кремния и кислорода. Это позволяет судить о его составе только на основании определения элементов-примесей. Целенаправленного изучения состава и примесей в жильном кварце региона ранее не проводилось. Поэтому прежде всего требовалось установить спектр элементов-примесей в жильном кварце месторождений золота. Первоначально был проведен спектральный приближенно-количественный анализ (300 проб) в

геолого-поисковой экспедиции ПГО "Центргеофизика", в результате чего было установлено присутствие в кварце 32 элементов (табл. II), к которым добавились щелочные металлы, определенные методом пламенной фотометрии. В дальнейшем применялся только количественный спектральный анализ на ограниченный круг элементов, наиболее часто встречающихся в золотоносном кварце.

Вся совокупность примесей подразделяется нами на две группы: петрогенные (заимствованные и входящие в состав жильных минералов) и рудогенные (входящие в состав рудных минералов).

Петрогенные примеси. Рассмотрено поведение калия, натрия, лития, алюминия и отчасти титана, так как остальные (Ca, Mg, Fe, Mn и другие) встречаются только на уровне чувствительности анализа.

Содержания щелочей в разных типах жил меняется незначительно, кроме лития (табл. I2), наиболее характерно для вулканогенного кварца. Однако при близких в целом содержаниях калия и натрия их отношение довольно четко фиксирует группы плутоногенных жил и меняется в зависимости от степени проявления сокварцевых или послекварцевых минералов в раннем кварце (рис. 21). Подобное изменение этого отношения в длительно кристаллизующемся кварце-I обусловлено, вероятно, изменением состава растворов во времени. Литий в кварце встречается реже, чем калий и натрий, и в плутоногенных жилах образует незначительные концентрации (см.табл.I2), а в позднем кварце и кварце вулканогенных жил - очень высокие, что может рассматриваться в качестве типоморфного признака последних. Для плутоногенных жил позднего этапа иногда устанавливается зональность в распределении лития в кварце жил, разноудаленных от материнского интрузива. В вулканогенных жилах высоким концентрациям лития отвечают высокие концентрации алюминия, достигающие десятых долей процента, реже-более. В целом же примесь алюминия в кварце постоянна. На гистограмме (рис. 22) распределения алюминия выделяются три пика. Самые высокие содержания ($> 0,05\%$), соответствуют вулканогенному кварцу и кварцу других групп жил, в котором установлены микроявления алюмоликатов (серцинта - много калия, альбита - много натрия). Установление двух пиков в области содержаний 50-500 г/т вызвано, с одной стороны, различными концентрациями алюминия в плутоногенных жилах двух групп (см.табл.I2), а с другой - возможными двумя формами вхождения алюминия в кварц: структурной и неструктурной.

Таблица II
Качественная характеристика распределения элементов
примесей в золотоносном кварце

Элемент	Частота встречаемости, %	Предел чувствительности анализа, г/т
K	98	5
Na	98	5
Li	50	0,5
Al	100	20
Ti	100	50
Y	100	5
Cu	100	I
Pb	98	0,5
Zn	98	10
Ag	100	0,02
Ni	95	0,9
Co	95	I,4
Bi	60	I,5
As	50	28
Sb	40	I,7
Sn	30	0,8
W	30	I,4
Ge	30	0,8
V	27	I
Cr	20	5,9
Mn	10	100
Ga	6	I
Be	5	I,2
Nb	5	5
B	5	3
Sc	I	10
Mo	20	0,2
Sr	0,8	100
Zr	0,8	3I
Ba	0,8	100
Cd	0,5	10

Таблица I2
Петрографические элементы в жильном кварце (г/т)

Элемент	Плутоногенные жилы			Вулканогенные жилы (24)
	Первого этапа (I70)	Второго этапа (44)	Кварца-III (21)	
Al	430 2,2	190 1,7	3000 1,9	10000 2,1
Li	3,3 2,3	7,1 1,8	125 1,8	II9 1,8
Na	61 2,8	77 2,2	77 3,2	205 2,6
K	91 2,9	97 2,8	310 3,6	490 3,2
K/Na	3,3	I,I	5,6	2,6
Na/Li	8,7	5,6	0,9	0,7

Примечание. Верхняя строка - среднее геометрическое, нижняя - стандартный множитель логнормального закона распределения. В скобках - кол-во проб.

Следует отметить, что в том и другом случае его количество тесно связано с условиями образования кварца (Балицкий, 1978; Румянцев, 1979).

Вхождение рассматриваемых петрографических примесей в состав кварца обусловлено разными причинами и происходит по-разному. С одной стороны, они находятся в кварце в качестве структурных примесей, замещая кремний по схеме гетеровалентного изоморфизма (Франк-Каменецкий, 1964): $(Si^{4+} \rightleftharpoons Al^{3+} + R^+)$ (K, Na, Li, H), причем количество алюминия в этом случае не превышает 0,02-0,03%, редко достигая 0,07% (Малышев и др., 1979). В качестве неструктурных примесей они могут заполнять дефектные каналы в виде коллоидально-дисперсных включений натрия (Цинобер, Каменцев, 1964) или полисиликатных комплексов с алюминием (И.П. и В.Е.Хаджи, 1967). И наконец, часть из них несомненно, входит в состав газово-жидких включений.

Рудогенные примеси являются важными индикаторами рудоноснос-

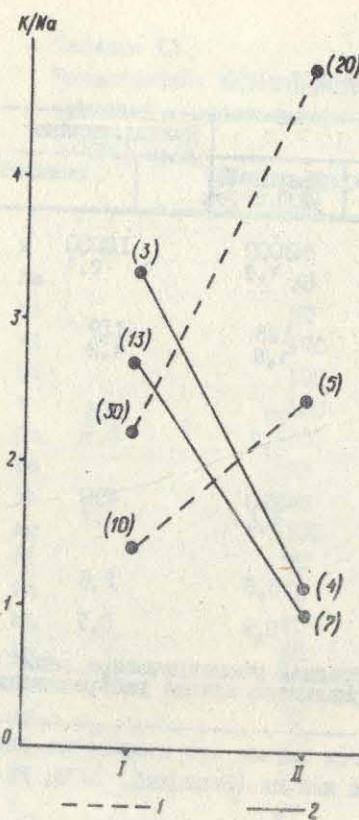


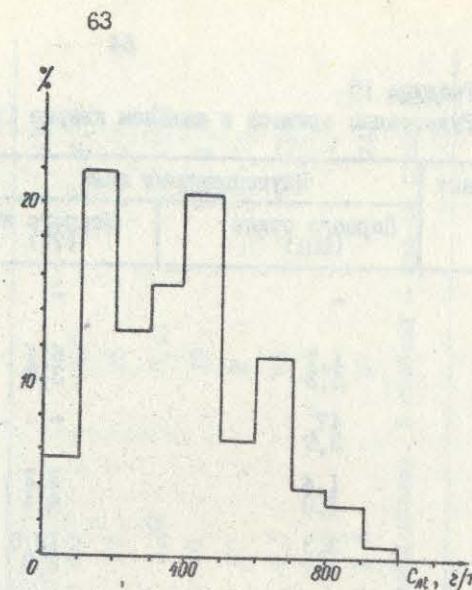
Рис. 21. Изменение калий-натрового отношения в кварце в зависимости от ассоциации его с разновозрастными комплексами минералов (I - сокварцевого, II - послекварцевого). I - плутоногенные жилы раннего и 2 - позднего этапов

ти кварца. К ним в первую очередь относятся медь, свинец, цинк, серебро, мышьяк, вольфрам, висмут, а также кобальт, никель, олово (табл. 13). Характер распределения этих компонентов в кварце изученных жил зависит, с одной стороны, от типа минеральной ассоциации руд, с другой - от регионально-металлогенической специализации районов расположения данных жил. Так, кварц жил северной части Аллах-Юнъского района (магматогенных и метаморфогенных) в сравнении с кварцем жил Яно-Колымского пояса характеризуется более высоким содержанием меди, мышьяка, вольфрама

(табл. 14). Уровень же содержания ртути зависит от расположения жил относительно зон глубинных разломов. Кварц жил, расположенных в наиболее подвижных зонах долгоживущих глубинных разломов, обогащен ртутью в 2-5 раз.

Статистическая обработка данных показала, что практически все рудогенные элементы подчиняются логнормальному (в редких случаях нормальному) закону распределения как в целом по группам жил, так и по отдельным жилам. Обращает на себя внимание факт больших величин стандартного множителя средних геометрических содержаний практически для всех элементов, что свидетельствует о резко неоднородном распределении таких элементов, как свинец, вольфрам, мышьяк, серебро, сурьма, олово, отчасти висмут и кобальт, при более однородном распределении меди и нике-

Рис. 22. Гистограмма частот встречаемости (%) различных концентраций алюминия в кварце плутоногенных жил



ля. Это обусловлено, вероятно, микроКлючениями их собственных минералов, что подтверждается наличием прямой корреляции между уровнем содержания щелочегенных элементов и степенью развития рудных минеральных ассоциаций. Корреляционный анализ позволяет выделить в кварце-I несколько ассоциаций: свинец-медь-серебро-сурьма, мышьяк-медь-серебро, мышьяк-свинец-цинк и ряд других, что также может указывать на влияние микроминеральных форм нахождения этих микроалюминий. В то же время наличие связей между элементами, входящими в состав разных минеральных комплексов (мышьяк-свинец-цинк, мышьяк-серебро, вольфрам-серебро, вольфрам-медь и т.д.), позволяет говорить о возможной сорбционной природе рудогенных примесей в кварце.

Как видно из табл. 13, кварц жил разных генетических групп несколько отличается по уровню рудогенных элементов-примесей. Для вулканогенных жил типоморфной примесью является сурьма и серебро. В них отчасти повышенны концентрации свинца, олова, меди. Плутоногенные жилы раннего этапа характеризуются повышенными концентрациями мышьяка, а жилы позднего этапа - вольфрама, висмута, кобальта и никеля, отчасти серебра и свинца. Для них типоморфно и олово.

Следует также отметить, что распределение рудогенных примесей мало зависит от морфологического типа кварца (табл. 15).

Таблица I3

Рудогенные примеси в жильном кварце (г/т)

Элемент	Плутоногенные жилы		Вулканогенные жилы (31)
	Первого этапа (201)	Второго этапа (70)	
Sb	-	-	41 3,3
Pb	1,7 5,3	6,1 3,3	9,1 5,3
As	47 2,7	-	-
W	1,4 1,0	3,2 4,4	-
Bi	2,3 1,7	12,5 2,8	4,1 2,4
Sn	-	1,0 2,0	1,3 3,2
Cu	5,4 1,7	6,9 1,6	8,5 1,8
Ag	0,14 3,4	0,35 2,1	0,55 0,5
Zn	34 2,1	45 1,3	52 1,5
Ni	1,9 1,7	3,3 1,8	2,8 1,5
Co	4,1 1,9	6,9 2,3	5,0 2,1
Hg	30 2,2(106)	22,5(37)	32 1,9(10)

Примечание. Hg в мг/т, в скобках - кол-во проб, для Hg отдельно. Верхняя строка - среднее геометрическое, нижняя - стандартный множитель логнормального закона распределения.

Таблица I4
Среднее содержание элементов-примесей в кварце жил Аллах-Юньской (А)
и Яно-Колымской (Я) золотоносных зон (г/т)

Элемент	Метаморфогенно-гидротермальные жилы		Плутоногенные жилы		Вулканогенные жилы	
	A (9)	Я (9)	A (59)	Я (82)	A (25)	Я (12)
Cu	16	10	25	22	II	II
Pb	3,6	2,4	22	30	4,5	5,9
Zn	6,2	22	II	II	25	17
Ag	0,28	0,06	1,07	1,32	0,44	0,44
As	76	-	132	40	I9	I,3
Sb	3,3	-	2I	30	2	16
W	6,7	-	13	2,7	68	26
Ni	0,5	6,8	0,7	I,8	I	I,3
Bi	-	-	-	2,1	37	24I

Примечание. Приближенно-количественный спектральный анализ. В скобках - кол-во проб.

Таблица I5
Элементы-примеси (г/т) в кварце разных морфологических типов
(месторождение Светлое)

Тип кварца	Cu	Ag	Zn	Ni	Co
Друзовый (5)	5,2 1,5	0,04 2,9	43 1,4	2,7 1,2	3,5 2,4
Массивный (5)	5,2 1,4	0,05 1,1	42 1,1	2,2 1,1	8,5 1,1

Примечание. Верхняя строка - среднее геометрическое, нижняя - стандартный множитель логнормального закона распределения. В скобках - кол-во проб.

Поздний кварц-III по всем параметрам состава однотипен с кварцем близповерхностных вулканогенных жил. В нем возрастают концентрации меди и германия, отчасти и галлия.

Сравнивая уровень концентраций элементов-примесей в кварце жил Яно-Кольмского пояса с золотоносными жилами других регионов (см. гл. I), можно отметить, что золотоносный кварц Северо-Востока по уровню концентрации рудогенных примесей практически не отличим, однако для него типичны повышенные концентрации кобальта и цинка, несколько меньше - мышьяка, меди и никеля, приблизительно одинаковые - висмута и серебра.

2. Структурные свойства

Структурным особенностям кварца постоянно уделяется большое внимание (Франк-Каменецкий, Каменцев, 1967), что отражено в многочисленных работах по изучению параметров элементарной ячейки кварца и факторов, на них влияющих. В последнее время появились публикации, указывающие на возможность изучения еще одного параметра структуры кварца - степени кристаллического совершенства (СКС), т.е. закономерного изменения полуширины пика дифракционного отражения 2351 кварца относительно эталона (Картенко и др., 1971; Йргенсон, 1984). Кроме того, одним из косвенных выражений структурных свойств являются диэлектрические потери (Методы..., 1985).

Параметры элементарной ячейки. Полученные данные (табл. I6) указывают на близкие значения параметров элементарной ячейки раннерудного кварца месторождений разных минеральных типов, поскольку они прямо зависят от количества структурных примесей в

Таблица I6
Структурные параметры золотоносного жильного кварца

Типы жил	a_0 , нм	c_0 , нм	V , нм^3	СКС, %
Гидротермально-метаморфогенные (4)	0,49127	0,54042	0,112949	75(2)
Плутоногенные:				
первого этапа (45)	0,49131	0,54046	0,112976	53 (57) IO
второго этапа (21)	0,49130	0,54043	0,112972	64 (18) II
Вулканогенные (10)	0,49160	0,54065	0,113104	43 (15) IO

Примечание. Верхняя строка - среднее арифметическое, нижняя - стандартное отклонение. В скобках - кол-во проб.

кварце. Такое сходство доказывает прежде всего близость их концентраций в кварце разных месторождений. Как известно (Франк-Каменецкий, Каменцев, 1967), параметры элементарной ячейки кварца существенно зависят от структурной примеси алюминия в нем и компенсирующих его вхождение лития и натрия. Полученные результаты подтверждают отмеченную нами (Горячев, Новоселов, 1980) ранее зависимость параметра a_0 от содержания лития и практическое отсутствие такой зависимости от количества натрия в золотоносном кварце региона (рис. 23). Анализ имеющихся материалов показывает, что кварц плутоногенных жил позднего этапа, обладающий минимальными содержаниями алюминия, по параметрам элементарной ячейки не отличается от кварца плутоногенных жил раннего этапа, имеющего почти в 2 раза большие концентрации этого элемента (см. табл. I2, I6). По-видимому, в кварце в основном преобладает неструктурная примесь алюминия, количество которой падает от жил раннего этапа к позднему. Высокие значения объемов элементарной ячейки позднего кварца (см. табл. I6) наряду с повышенными концентрациями в нем лития и алюминия оказываются близкими к таким для кварца близповерхностных вулканогенных жил и "рисованному кварцу" золото-сурымянных месторождений, тесно ассоциирующимся с антимонитом. Раннерудный кварц золото-сурымянных месторождений по размерам элементарной ячейки практически идентичен кварцу плутоногенных жил раннего этапа.

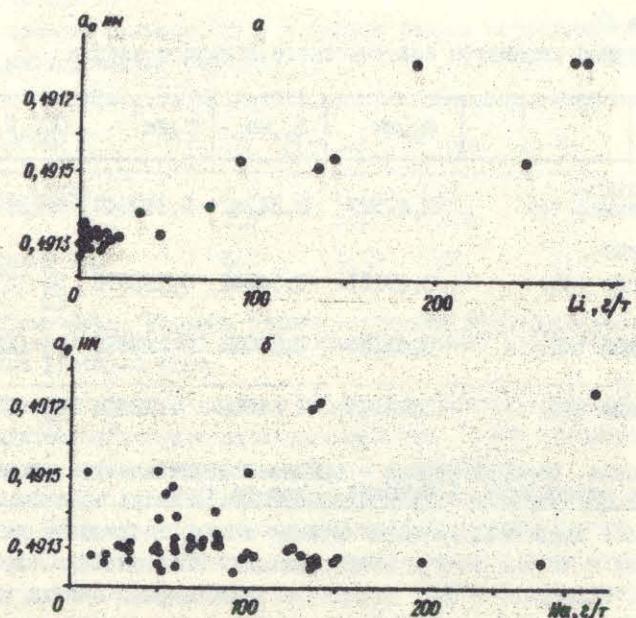


Рис.23. Вариации параметра a , жильного кварца в зависимости от концентраций лития (а) и натрия (б)

Степень совершенства кристаллического строения (СКС). В целом жильный кварц обладает несовершенным строением (см.табл. I6), причем СКС кварца плутоногенных жил выше, чем у вулканогенных серебряных, что связано с разной глубиной их формирования (Юргенсон, 1984). В то же время кварц плутоногенных жил позднего этапа, имея СКС большую, чем у кварца жил раннего этапа, по геологическим данным, формировался в условиях меньших глубин (Гамянин, 1974). Поскольку на величину СКС большое влияние оказывает скорость кристаллизации кварца (Юргенсон, 1984), можно предположить, что, несмотря на менее глубинные условия, кварц жил позднего этапа кристаллизовался с меньшей скоростью, чем кварц жил раннего этапа. По всей видимости, это обусловлено термостатирующим влиянием интрузий гранитоидов, с которыми генетически связаны первые. Следует отметить, что кристаллы кварца (раннерудного) имеют совершенное строение (СКС=90–110%), по сравнению с массивными зернистыми агрегатами, и этим резко отличаются от крис-

таллов позднего и гребенчатого кварца вулканогенных жил, имеющего заметно низкие величины СКС (30–40%). В целом поздний кварц практически не отличается от раннерудного, хотя при конкретных пересечениях он всегда обладает меньшей СКС.

Сравнение объемов элементарной ячейки кварца и его СКС (рис.24) указывает на существование сложной зависимости. С одной стороны, проявляется тенденция к незначительному увеличению объема элементарной ячейки от величины СКС в кварце плутоногенных жил (правая часть рисунка), с другой – устанавливается заметная прямо пропорциональная зависимость этих величин для вулканогенных жил (левая часть рисунка). По-видимому, это связано с высокой чувствительностью параметров элементарной ячейки к внешнему давлению в момент формирования кварца, в то время как величина СКС менее чувствительна к нему.

Это позволяет относиться к ней в данном случае как к индикатору скорости образования индивидов кварца. Причина, вероятно, заключается в том, что величина СКС определяется, с одной стороны, величиной областей когерентного рассеяния, а с другой – степенью остаточных напряжений на границах блоков микрокристаллов так называемых напряжений второго рода (Уманский, 1969; Картеинко и др., 1971). Определить вклад обеих составляющих СКС практически невозможно, однако и в том и в другом случае их величины

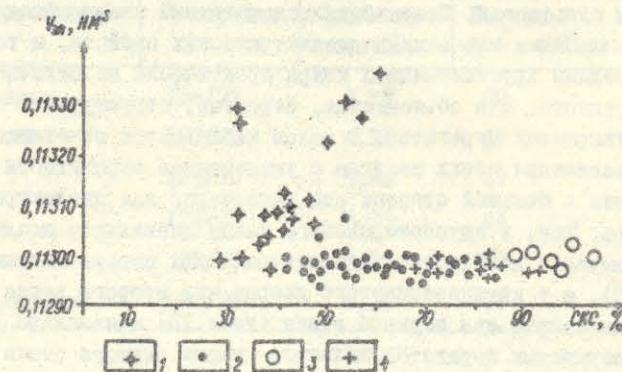


Рис.24. Соотношение между объемом элементарной ячейки кварца и степенью его совершенства кристаллического строения (СКС): 1 – кварц близповерхностных вулканогенных жил, 2–4 – кварц плутоногенных жил: первого этапа (2), второго этапа (4), и кристаллы (3)

зависят от скорости роста индивидов кристаллов (в данном случае кварца). Чем больше скорость роста, тем меньше по размерам блоки микрокристаллов, соответственно, и меньше индекс СКС. При больших скоростях роста в структуре кристаллизующегося минерала возникает большое число различных дефектов, увеличивающих вероятность проявления остаточных напряжений второго рода, которые, в свою очередь, также уменьшают СКС кварца. Об этом же свидетельствует и увеличение степени СКС по мере роста кристаллов кварца. В корневых частях СКС, как правило, всегда меньше вершин кристаллов, независимо от степени прозрачности кварца.

Таким образом, сравнительно невысокая степень кристалличности жильного кварца, скорее всего, обусловлена заметной дефектностью его структуры и высокими скоростями роста.

3. Диэлектрические свойства

Золотоносный жильный кварц ВКСО характеризуется высоким диапазоном изменения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь (табл. I7). Кварц плутоногенных жил позднего этапа обладает минимальными значениями диэлектрических свойств, выражаемых через коэффициент диэлектрических потерь – $K = \epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot 10^2$ (Методы..., 1985), по сравнению с кварцем жил раннего этапа (см. табл. I7), а среди последних – максимальными значениями диэлектрических свойств выделяется кварц жил, в которых максимально проявлены сульфосоли. Поздний халцедоновидный кварц обладает реактиво повышенными значениями диэлектрических свойств, в то время как поздний хрусталевидный кварц практически не отличается от раннерудного. Это объясняется, вероятно, структурными особенностями кварцевых агрегатов. В целом наблюдается отчетливая тенденция увеличения обеих величин с уменьшением зернистости образцов, причем в большей степени это характерно для диэлектрических потерь. Так, у крупнозернистого халцедоновидного позднего кварца значения коэффициента диэлектрических потерь максимальны ($K > 10$), а у крупнозернистого кварца жил второго этапа и кристаллов кварца жил первого этапа (табл. I8) минимальны ($K < 3$), у среднезернистых агрегатов жильного кварца первого этапа значения промежуточные ($K=3-10$). Полученные результаты совпадают с данными С.Г. Соломкиной (Василькова, Соломкина, 1985), В.Д. Перевертаева с соавторами (1974). Однако в нашем случае такая зависимость отмечается только при крайних значениях размерности индивидов кварцевых агрегатов ($< 0,1 \text{ мм}; 0,1-10 \text{ мм}; > 10 \text{ мм}$).

Таблица I7
Диэлектрические характеристики кварца

Тип жил	Проницаемость ϵ	Потери $\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$	K
Плутоногенные:			
первого этапа (I59)	4,87 0,20	89 39,5	4,33
второго этапа (4I)	4,75 0,19	44 16,2	2,09
Прожилки кварца-II:			
хрусталевидного (8)	4,68 0,29	71 24,7	3,32
халцедоновидного (4)	5,64	345	19,46

Примечание. Верхняя строка – среднее арифметическое, нижняя – стандартное отклонение. В скобках – кол-во проб.

Таблица I8
Диэлектрические характеристики кристаллов золотоносного кварца плутоногенных жил раннего этапа

Месторождение	№ образца	Проницаемость ϵ	Потери $\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$	K
Базовское	I54/77	4,69	38	1,77
Доромное	I27/79	4,71	42	1,95
	I28/79	4,96	47	2,33
	I32/79	5,03	44	2,19
Хангас	33/79	4,50	32	1,45
Нажданинское	50/78	4,31	54	2,33

Кварц же большинства жил раннего этапа по размерам зерен практически одинаков, а колебания диэлектрических свойств для него имеют большие пределы ($K=2,02-7,64$). У кварца жил позднего этапа при одинаковой с ним размерности индивидов величины диэлектрического коэффициента незначительны ($K \leq 2,0$). Это обусловлено рядом генетических факторов (Буканов и др., 1971; Доломанова и др., 1981). При детальном изучении жильного кварца Нежданинского месторождения нами установлена прямая зависимость диэлектрической проницаемости от количества воды в кварце (рис.25). Вода определялась кулонометрическим методом с термическим вскрытием из тех же навесок, что и диэлектрические свойства. Уравнение регрессии имеет вид $\epsilon = 4,37 (\pm 0,08) + 0,0052 (\pm 0,0008) C_{H_2O}$ (в г/т). Оно позволяет оценить в первом приближении насыщенность кварца газово-жидкими включениями. Диэлектрические потери практически не зависят от количества воды в кварце. Нами установлено, что диэлектрическая проницаемость раннерудного кварца резко колеблется (4,16-5,26) при содержаниях в нем примесей менее 0,05% (в сумме) и практически стабильна при их концентрациях более 0,05% (4,9-5,25). Поскольку величина диэлектрической проницаемости кварца-минерала связана с количеством носителей тока (ионов), то увеличение в нем количества газово-жидких включений, представляющих собой включения ионного солевого раствора, должно способствовать возрастанию диэлектрической проницаемости. Примеси же, входя в состав кварца, образуют разного рода дефекты, приводящие к изменению проводимости минерала, а значит, и его диэлектрической проницаемости. Об этом свидетельствует, в частности, обратная зависимость диэлектрических проницаемости и потерь от СКС кварца (рис.26).

Таким образом, проведенные исследования показывают, что диэлектрическая проницаемость и потери жильного кварца определяются, с одной стороны, его морфоструктурными особенностями (в большей степени это важно для диэлектрических потерь), а с другой - количеством газово-жидких включений и в меньшей степени примесей (диэлектрическая проницаемость). В то же время оба этих фактора тесно связаны с условиями кристаллизации кварца в жилах.

4. Термолюминесcentные свойства

На кривых естественной термолюминесценции (ЕТЛ) природных образцов золотоносного жильного кварца зафиксированы пики в пред-

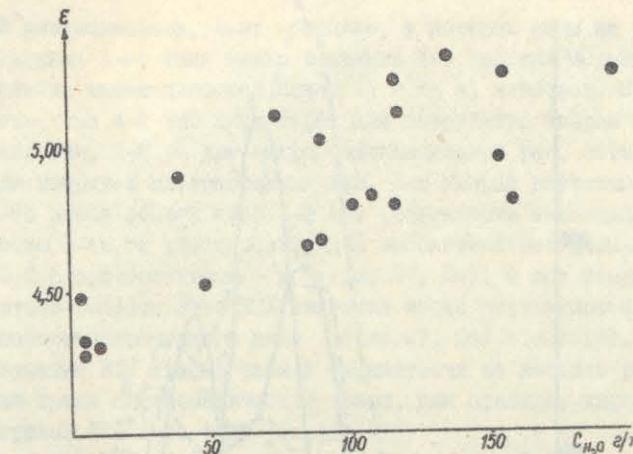


Рис.25. Зависимость диэлектрической проницаемости кварца от количества воды в нем

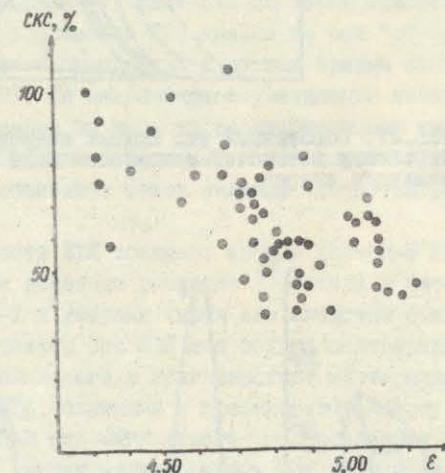


Рис.26. Взаимосвязь между величиной диэлектрической проницаемости и степенью кристаллического совершенства кварца

делах температур ($^{\circ}\text{C}$): $T_1=220-250$, $T_2=250-300$, $T_3=300-350$. Из них наиболее интенсивны и часто встречаются пики в пределах T_1 и T_3 . На кривых ЕТЛ нами выделено четыре типа сочетания пики (рис.27). К I-му отнесены кривые с одним пиком в пределах T_1 , II-му - в пределах T_2 , III-му - с сочетанием двух пиков (T_1 и T_3)

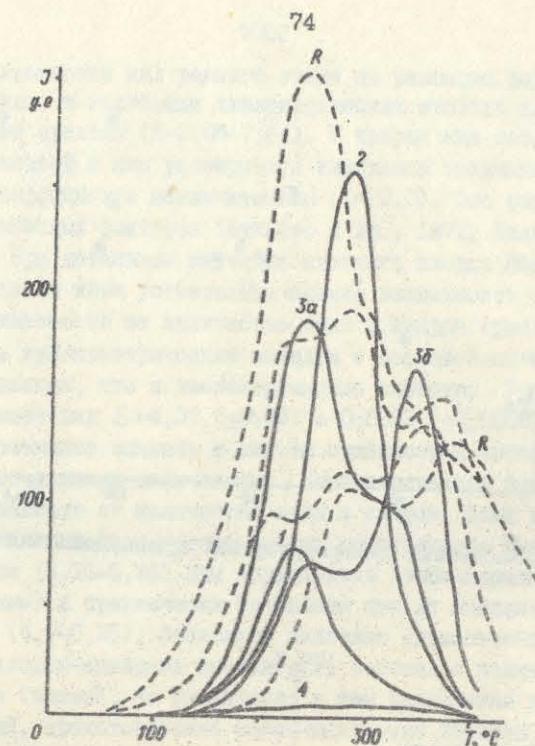


Рис.27. Обобщенный вид кривых естественной (I-4 - разные типы, пояснения в тексте) и искусственной (R) термolumинесценции жильного кварца

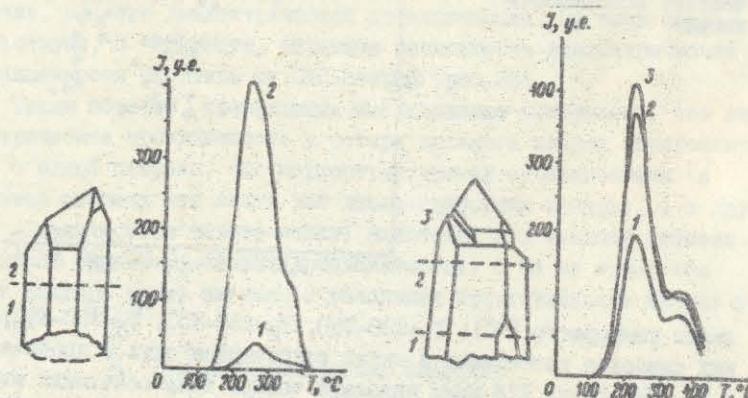


Рис.28. Изменение ЕЛ кварца разных частей его кристаллов (I-3 - участки проанализированных кристаллов)

разной интенсивности, 4-му - кривые, у которых пики не выражены. Среди кривых 4-го типа можно выделить два подтипа с разными соотношениями интенсивностей пиков $I_1 > I_3$ и, наоборот. Следует отметить, что 4-й тип характерен для безрудного кварца метаморфогенных жил, 2-й - для кварца вулканогенных жил, остальные же присущи кварцу-I плутоногенных жил. Для кварца плутоногенных жил I-го этапа обычен либо I-й тип (фактически являющийся разновидностью 3-го со слабо проявленным высокотемпературным пиком), либо 3-й с соотношениями I_1 / I_3 (рис.27, Ша), а для кварца жил 2-го этапа особенностью ЕЛ является четко выраженное преобладание высокотемпературного пика (рис.27, Шб) (табл.19).

Изучение ЕЛ кварца разной зернистости не выявило различий, в то же время метасоматический кварц, как правило, характеризуется кривой ЕЛ I-го типа (см.рис.27).

Изучение ЕЛ кристаллов кварца из занорщих жил ряда месторождений показало закономерное увеличение интенсивности свечения от основания к вершинам (рис.28). Причем эта особенность типична не только для кристаллов золоторудных жил, но и для оловорудных. Детальное изучение ЕЛ по зонам кристаллов показало также резкое увеличение ЕЛ кварца по оси "с" и, наоборот, заметное снижение в пригравных участках призмы поперек сечения кристаллов (рис.29). На закономерное увеличение интенсивности ЕЛ кристаллов кварца по мере их роста указывали также И.Л.Комов с соавторами (1971), В.С.Балицкий с соавторами (1971), Г.А.Юргенсон (1984). Они объяснили такое явление скоростью роста кристаллов.

Отметим также особенности ЕЛ позднего кварца (кварц-II жил I-го этапа). Важе нами уже показаны различия в составе и свойствах между ним и кварцем-I и указаны черты его сходства с кварцем вулканогенных жил. Характер его ЕЛ еще больше подтверждает это. Так, кварц-II жил Эргеляхского и Нежданинского месторождений обладает параметрами ЕЛ, близкими к гребенчатому кварцу вулканогенных жил, а кварц-II жил Хангатасского месторождения близок к халцедоновидному кварцу вулканогенных жил по температуре максимума, но отличается низкой интенсивностью свечения (табл.20).

В общем случае ТЛ минералов обусловлена взаимодействием при нагревании трех типов электронных и дырочных центров: 1) захвата (лонгушек) электронов и дырок, 2) электронно-дырочной реком-

Таблица 19

Параметры ЕТЛ кварца жил разных типов

Тип жил	Интенсивность ЕТЛ, усл.ед.		
	I (230°C)	I (260°C)	I (320°C)
Метаморфогенно-гидротермальный (30)	Пики не выражены		
Плутоногенный:			
раннего этапа (255)	127 2,4	-	72 1,9
позднего этапа (84)	75 2,2	-	140 2,4
Вулканогенный (50)	-	370 2,2	-
Прожилки кварца-III (20)	-	386 1,5	-

Примечание. Прочерк - пик отсутствует. Верхняя строка - среднее геометрическое, нижня - стандартный множитель логнормального закона распределения. В скобках кол-во проб.

бинации, 3) излучения (Таращан, 1978). Для кварца, по данным ЭПР-спектроскопии, примесные дефекты, выступающие в роли центров захвата, связаны в первую очередь с присутствием одновалентных ионов - Li, Na, K, и (Серебренников, 1977), а главными центрами рекомбинаций и одновременно свечения, являются дырочные комплексы SiO_4^{3-} и AlO_4^{4-} (Павлишин, 1983). О них косвенно может свидетельствовать характер искусственной ТЛ кварца. Радио-ТЛ кварца ряда образцов из плутоногенных и метаморфогенных жил (рис.27 "Р") была исследована В.М.Полежаевым в ИГ Коми НЦ УрО АН СССР. Кварц облучался источником Co_{60} , доза облучения составляла 10 мкГр. На кривых ИТЛ отчетливо выявился три пика ($^{\circ}\text{C}$): $T_1=210-235$, $T_2=240-295$ и $T_3=300-375$. Метаморфогенный кварц после свечения ИТЛ не обладал. Самый интенсивный пик высвечивания обычно в области температур 300-375°C связан с присутствием AlO_4^{4-} центра свечения (Марганин, 1975). В.И.Павлишин (1983) считает, что пики ИТЛ в области 260-280°C обусловлены вхождением лития в качестве электронного центра стабилизирующего AlO_4^{4-} , в то время как пики 180-240°C - с вхождением ионов магния. По нашим данным (табл.21), увеличение количества лития в кварце при-

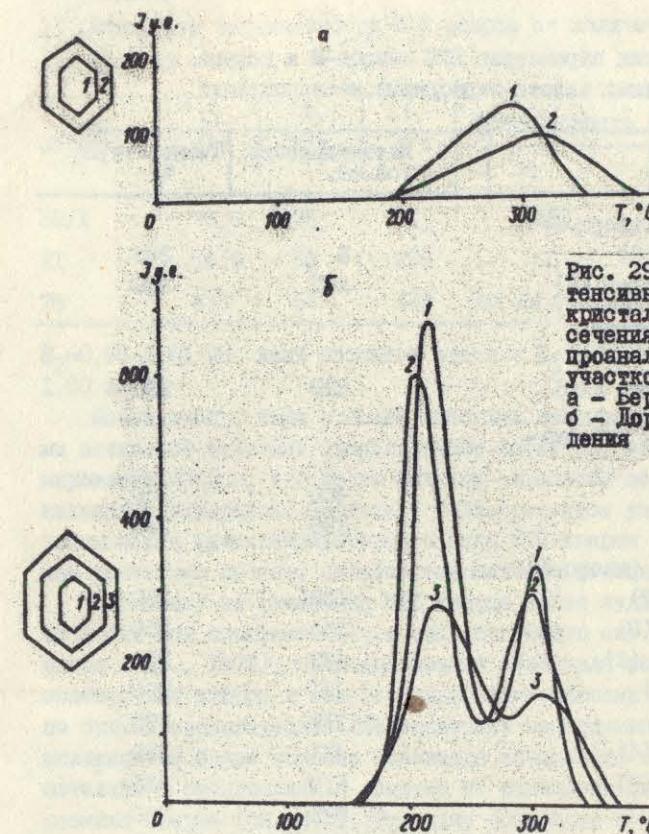


Рис. 29. Изменение интенсивности ЕТЛ кварца кристаллов поперек их сечения (1-3 - зоны проанализированных участков кристалла).
а - Березовское,
б - Дорожное месторождения

мо связано с интенсивностью низкотемпературного пика T_1 . Таким образом, данные ИТЛ указывают на существование в нем структурной примеси алюминия, скомпенсированной вхождением в его структуру лития.

Как уже отмечалось, особенностью кварца-I является двухпиковость его термолюминесценции. Согласно теоретическим основам ТЛ-анализа, каждый пик на кривой высвечивания отвечает определенным группам ловушек электронов, имеющих разные энергетические уровни захвата, т.е. можно говорить о существовании в изученном золотоносном кварце двух групп уровней захвата, имеющих разные энергии активации. Существование их связывают либо с процессами

Таблица 20

Средние значения параметров ЕТЛ кварца-III и кварца
близповерхностных золото-серебряных месторождений

Формация, месторождение	Интенсивность, усл.ед.	Температура, °C
Золото-кварцевая (кварц-III)		
Хангалас, хлц (3)	6	285
Нежданинское, хрст (6)	220	280
Золото-редкометалльная (кварц-III)		
Эргеляхское, хрст (10)	538	260
Золото-сурымая ("рисовид- ный кварц")		
Сентачан (3)	480	250
Билях (1)	390	250
Золото-серебряная (кварц-I)		
Кавказ, хрст (7)	1221	250
Кызылга, хрст (8)	544	250
Урультун, хрст (3)	449	255
Альфа, хрст (3)	110	260
Ким, хлц (2)	118	275
Карамкен, грб (4)	461	250
Хаканджа, грб (5)	510	265
Угесное, грб (2)	525	260
Прочие, хлц (4)	385	280
грб (4)	420	260
Безрудные жилы, хлц (4)	15	280

Примечание. Характеристика кварца: хлц - халцедоновидный, хрст - хрусталевидный, грб - гребенчатый. В скобках - кол-во проб.

последующих изменений кварца, либо - с длительностью формирования продуктивных кварцевых агрегатов (Моргенсон и др., 1979). Близость энергий активизации обеих групп захвата в кварце разных жил (расчетаны по формулам Ч.Б.Лушки, 1955) является личным подтверждением близости условий их образования в пределах одного жильного типа: жилы раннего этапа - $E_1=0,51-0,76$,

Таблица 21

Изменение интенсивности ИТЛ кварца от количества щелочей в нем

№ образца	Li, г/т	Na, г/т	K, г/т	Интенсивность ИТЛ, усл.ед.	
				I_1	I_2
39/I	73,6	26	71	400	Пик не проявлен
4I	16,6	81	299	60	38
76	4,3	55	142	Пик не проявлен	II2

$E_2=0,58-1,01$ эВ, жилы позднего этапа - $E_1=0,81-0,86$ и $E_2=0,93-1,00$ эВ.

По-видимому, пики с более высокими температурами и энергиями активации отражают существование дефектов, возникших при формировании кварца, а с более низкими - процессы образования послекварцевых минералов. Последнее подтверждается увеличением интенсивности низкотемпературного пика ЕТЛ кварца в жилах с широким развитием поздних сульфоантимонитовых ассоциаций.

Поскольку на основании ЕТЛ кварца можно судить о сингенетичности или эпигенетичности сопутствующего ему оруденения (Лисаков и др., 1972), мы использовали метод для решения вопроса соотношения кварца и золото-сульфоантимонитовых ассоциаций. Обычно при минералогических исследованиях золото-кварцевых жил устанавливается более позднее положение ассоциаций минералов полиметаллов и сульфосолей с золотом по отношению ко времени образования кварца (см. гл. 3). Это дало основание некоторым исследователям выделить различные стадии минералообразования и выдвинуть тезис о наложении золотого оруденения и сопутствующих ему минералов на уже сформировавшиеся кварцевые жилы (Кузьмин, 1971; Попов, 1980). Проведенное нами изучение ЕТЛ кварца разных частей золотоносных жил разных типов показало, что ЕТЛ кварца, отобранного в местах обогащенных рудными минералами, и в "пустых", без минерализации, участках жил практически одинаково (рис. 30). Согласно В.С.Лисакову (1972), это может указывать на синхронность оруденения с образованием жильного кварца и формирование их из единой порции растворов.

Если исходить из предложения о последовательной кристаллизации кварца в жилах от стенок трещины к ее центру, то должно

бы наблюдалась увеличение интенсивности ЕТЛ от залежа к центру (как это было установлено для кристаллов). Анализ же интенсивности ЕТЛ кварца-I, отобранного по разрезам вкрест простирации разных жил (рис.31), показал, что из 10 разрезов только в одном наблюдалась тенденция к аналогичным изменениям ЕТЛ. Эти материалы свидетельствуют об относительно равномерной и близковременной кристаллизации кварца в объеме жилы данных участков, что возможно лишь в условиях очень больших пересыщений.

Таким образом, кварц-I золотоносных жил обладает интенсивной ЕТЛ двухпикового характера, но с разным соотношением пиков по их интенсивности. Характер ЕТЛ указывает на кристаллизацию кварца из сильнопересыщенных растворов. Сходство параметров ЕТЛ кварца разных жил свидетельствует об образовании их в близких условиях. Поздний кварц (кварц-II) по ЕТЛ отличается от кварца-I и по этой характеристике близок кварцу близповерхностных жил.

Выделенные по геологическим признакам группы кварцевых жил различаются по составу и свойствам жильного кварца. Однако эти различия заметны только при его комплексном изучении.

Кварц жил метаморфической (додайковой) группы содержит минимальные количества примесей, практически не обладает естественной термолюминесценцией.

Кварц плутоногенных жил отмечается повышенными концентрациями рудогенных примесей, интенсивной естественной люминесценцией, разной для обеих групп жил (этапов I, II), которые различаются и по диэлектрическим характеристикам и по СКС.

Кварц вулканогенных жил обладает аномальными концентрациями алюминия и лития, большими объемами элементарной ячейки, интенсивной одношпиковой кривой ЕТЛ, повышенными величинами диэлектрических показателей. По всему набору признаков кварц-III - полный аналог кварца вулканогенных жил и далее нами рассматривается в это^в группе.

Глава 5. О ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЯХ В КВАРЦЕ

Информация о природных процессах минералообразования, полученная методами изучения газово-жидких включений в минералах (Ермаков и др., 1984), дает возможность уверенно определять температуру и давление в момент их образования. Поэтому для выяснения условий образования того или иного минерала необходимо,

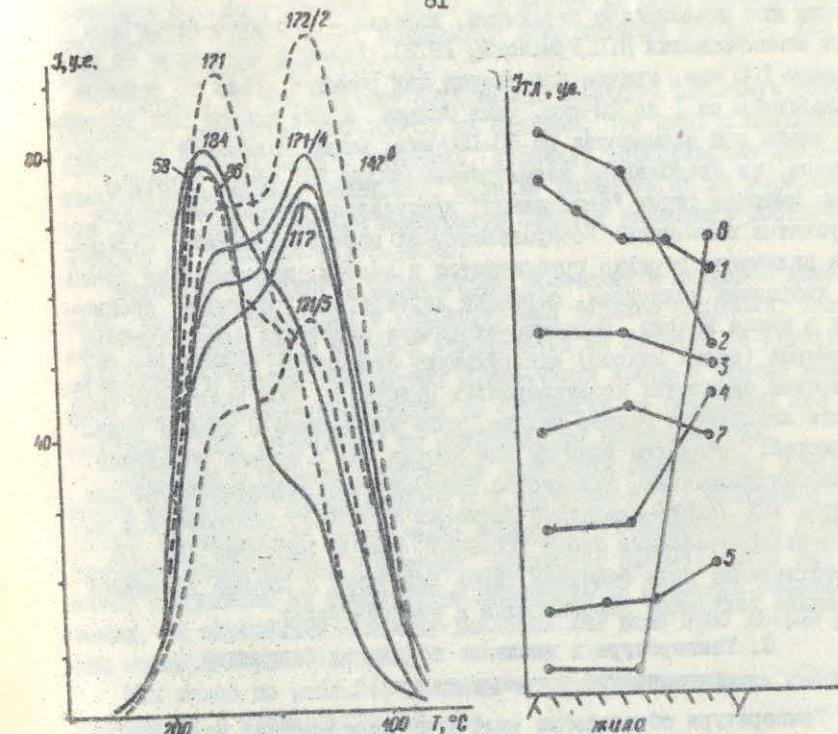


Рис.30. Примеры кривых ЕТЛ кварца рудных (обр. 58, 86, 117, 147a, 171/4, 184) и безрудных (обр. 86, 171/5, 172/2) участков жил Нижнеданинского и Дыбинского месторождений

Рис.31. Вариации интенсивности ЕТЛ по разрезу плутоногенных жил. Вертикальный и горизонтальный масштабы произвольные; 1-7 - номера жил

проводить комплексные исследования специфики его состава и свойств, проводить анализ газово-жидких включений минералообразующей среды в нем.

I. Краткая характеристика включений

Для изучения таких включений было просмотрено 110 полированных пластинок (80 - жил раннего, 20 - позднего этапов, 10 - поздние вулканогенные жилы), а также привлечены материалы других исследователей. У большинства газово-жидких включений размеры весьма мелкие (обычно первые десятки микрон). Они могут относиться к так называемым субмикроскопическим флюидным включениям - СФВ, описанным довольно подробно О.А.Суставовым (1968).

Среди них преобладают первичные, изредка - первично-вторичные (по классификации Н.П.Бумакова, 1972). Размеры включений не превышают 100 мкм, причем для кварца хил раннего этапа их размеры колеблются от 1 до 20 мкм, реже большие, а для кварца хил позднего этапа они повышаются до 50-100 мкм. Формы включений разнообразные, но преобладают изометрические (см.рис. II), часто округлые, реже имеющие форму "негативных" кристаллов. Иногда отмечаются трубчатые включения. Распределения их обычно хаотичное. Первичные включения нередко группируются в полосы, пересекающие границы кварцевых индивидов, образуют характерные "облачные" скопления в массе кварца. Первично-вторичные включения более крупных размеров (сотни микрон) обнаруживают отчетливую приуроченность к местам скопления послекварцевых минералов. Все включения чаще всего двухфазные газово-жидкие, реже трехфазные с жидкой углекислотой. Последние типичны для кварца хил с широко развитыми сульфоантимонитами. Количество газовой фазы незначительное для кварца хил золото-кварцевой формации (10-30%), возрастает в золото-редкометаллических хилах (20-60%), иногда достигая 80%. На существование двух основных типов включений в кварце указывают и данные вакуумной декрепитации и гомогенизации.

2. Температура и давление по данным вакуумной декрепитации и гомогенизации

Температура образования включений определялась методами вакуумной декрепитации и гомогенизации. Поскольку размеры включений оказались весьма мелкими, метод гомогенизации применялся как вспомогательный, а температуры оценивались по методу вакуумной декрепитации на серийном приборе ВД-3. Анализ графиков показал, что ее интервал для месторождений минеральных типов практически одинаков ($180-400^{\circ}\text{C}$). При этом отчетливо выделяются на гистограммах два максимума для кварца, несущего послекварцевые ассоциации минералов, и один для кварца с сокварцевыми минералами. Соответственно этому, можно выделить два типа декрептограмм кварца-I: 1) с двумя пиками $-260-380^{\circ}\text{C}$ и $180-280^{\circ}\text{C}$; б) с одним пиком в области $250-400^{\circ}\text{C}$. Второй тип встречается значительно реже первого. Изучение гомогенизации включений подтвердило наличие двух разнотемпературных групп включений в кварце-I с различием в температурах до 100°C . При этом низкотемпературные включения, как правило, оказались тесно связаны с участками развития золота и поздних сульфидов. Ранее такая особенность их была

отмечена Б.О.Манучарянцем (1976). Обращает на себя внимание относительная стабильность температур декрепитации кварца-I хил разных месторождений (табл.22).

Принимая за температуру образования кварца-I максимум декрепитации в интервале $280-400^{\circ}\text{C}$, мы считаем, что пики с меньшими температурами $210-295^{\circ}\text{C}$ вероятно, отвечают формированию послекварцевых минералов (табл.23). Если же исходить не из усредненных данных, то интервалы температур следует расширить соответственно до $230-430^{\circ}\text{C}$ и $170-320^{\circ}\text{C}$.

Изучение температур образования включений в кварце-II показало, что они однотипны с температурами раннего кварца-I. При этом халцедоновидный кварц-II практически не отличим от хрусталиевидного. В случае конкретных пересечений кварц-II обычно является более высокотемпературным по сравнению со вмещающим его кварцем-I, как отмечается на Нежданинском месторождении.

Давление в период образования включений оценивалось приближенно по методу, предложенному В.Б.Наумовым и С.Л.Малининым (1968) на основании соотношений температур гомогенизации декрепитации газово-жидких включений. Используя разработанный ими метод и принимая за температуру декрепитации максимум газовыделения, мы определили величину давления для ряда проб кварца разных месторождений (табл.24).

Как видно из табл.24, давление в период образования кварца колеблется в пределах 70-120 МПа.

Сравнение наших данных с результатами других исследователей, изучавших газово-жидкие включения в кварце золото-кварцевых месторождений региона (см. гл.I), позволяет сделать общий вывод о формировании золоторудных шунтониженных хил региона в интервале температур $180-430^{\circ}\text{C}$ и давлений 60-160 МПа.

3. Состав газово-жидких включений

Изучение состава гидротермальных растворов осложняется отсутствием точных знаний об их состоянии и концентрации в момент минералообразования. Важную информацию об их составе можно получить, используя данные анализа водных вытяжек из минералов. Однако они не могут экстраполироваться на состав самих гидротермальных растворов, вследствие неучета уже выпавших минералов (Бурик, 1979). В то же время эти растворы (во включениях) несут в себе информацию о тех элементах минерализаторах, которые не вошли в состав минералов, но играют заметную роль в процессе минералообразования.

Таблица 22
Средние температуры максимумов вакуумной декрепитации ($^{\circ}\text{C}$) кварца-I

Формация	Месторождение	T_1	T_2
Золото-кварцевая (ранние плутоногенные жилы)	Базовское (3)	-	290
	Кданное (9)	270	320
	Ханталас (6)	250	305
	Имтачан (20)	245	290
	Юконджа (5)	270	350
	Тунгусское (5)	245	325
	Лазурине (3)	230	310
	Нажданинское (54)	210	280
	Золото-редкометалльная (поздние плутоногенные жилы)	Эргеляхское (23)	265
	Лыбинское (17)	295	380

Примечание. В скобках - кол-во проб.

Таблица 23
Сравнение температур гомогенизации газово-жидких включений
разновозрастного кварца Нажданинского месторождения ($^{\circ}\text{C}$)

Проба	Кварц-I	Кварц-II
1	222(74)	302(9)
2	274(37)	294(13)
3	252(30)	283(37)
4	255(43)	292(38)
5	270(52)	283(23)

Примечание. В скобках - кол-во проб (замеры С.Г.Москвитина
и автора).

Таблица 24
Исходные данные для определения давлений
во время образования включений в кварце-I

Формация	$T_{\text{ГМГ}}$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ДКР}}$ $^{\circ}\text{C}$	$P_{\text{МПа}}$
Золото-кварцевая, жилы I-го этапа	Месторождение Хангалаас	308	310
		287	320
		210	250
Золото-редкометалльная, жилы 2-го этапа	Эргеляхское месторождение	370	275
		310	295
		395	350
		420	295
		320	385
			70

С учетом данных замечаний был проведен небольшой объем изучения составов газово-жидких включений ряда жил разных групп. Результаты анализа водных вытяжек (табл.25) свидетельствуют об однотипном катионном составе жидкой фазы включений разнотипных жил, что в целом согласуется с материалами В.В.Вордешнева с соавторами (1985), однако в анионной части отмечается заметное преобладание гидрокарбонатного иона над остальными в жилах раннего этапа, а хлора - в жилах позднего. Повышенная углекислотность кварца жил раннего этапа устанавливается и по данным газово-хроматографического анализа (рис.32,а) кварца жил конкретных рудно-магматических узлов. А в целом же картина получается очень близкая (рис.32б) не только для золотоносных жил, но и для оловянно-серебряных. Последнее лишний раз подчеркивает генетическую близость кварцевых разноФормационных жил по сопутствующим металлом оруденения. В отдельных пробах газов в их составе устанавливаются CH_4 и CO (табл.26).

Таким образом, изучение газово-жидких включений в кварце показывает, что кварц-I образовался в широком интервале температур и давлений. В нем устанавливаются две разнотемпературные группы включений, имеющих либо первичную, либо первично-вторичную природу. Температура образования основной массы включений

Таблица 25
Состав газово-жилых включений в кварце золотоносных
плутоногенных жил

Ионы, газы	Жилы раннего этапа (II)	Жилы позднего этапа (9)
Cl ⁻	5,95 30,5	12,96 67
F ⁻	0,27 1,5	0,21 1,0
HSO ₃ ⁻	13,3 68	6, II 32
Σ анионов	19,52 100	19,28 100
Na ⁺	10,88 58	10,16 54,5
K ⁺	6,19 33	3,55 19
Ca ⁺⁺	1,05 5,5	3,09 16,5
Mg ⁺⁺	0,60 3,5	1,88 10
Σ катионов	18,72 100	18,68 100
DH	7,3	6,8
H ₂ O, вес. %	0,15	0,12
газов, отн. %	100	100
O ₂ + N ₂	27	44
CO ₂	53	32
H ₂ O	20	24

Примечание. Верхняя строка - концентрации в мг·экв/л, нижняя - экв. %. Сера не обнаружена. В скобках - кол-во проб.

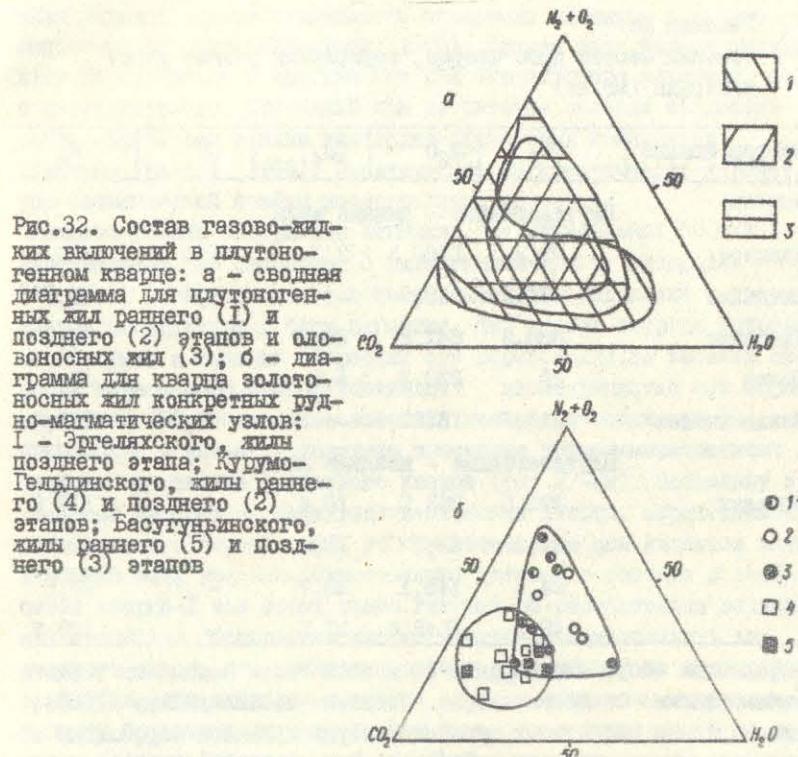


Рис.32. Состав газово-жилых включений в плутоногенном кварце: а - сводная диаграмма для плутоногенных жил раннего (1) и позднего (2) этапов и оловянно-золотоносных жил (3); б - диаграмма для кварца золотоносных жил конкретных рудно-магматических узлов: 1 - Эргелийского, жилы позднего этапа; Курумогельдинского, жилы раннего (4) и позднего (2) этапов; Басыгуининского, жилы раннего (5) и позднего (3) этапов

лекит в пределах 430–260°C и принимается за температуру образования кварца. Давление в этот момент составляло 70–160 МПа.

Состав включений существенно углекислотно-хлоридно-водный с примесью серы. В газовой фазе помимо углекислого газа и водяного пара отмечается небольшие примеси оксида углерода. Особенность включений – преобладание CO₂ над Cl в составе кварца жил раннего этапа и, наоборот, Cl над CO₂ в составе кварца жил позднего этапа.

Глава 6. ГЕНЕЗИС ЗОЛОТОНОСНЫХ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ

Помимо изучения газово-жилых включений важную генетическую

Таблица 26
Газовый состав проб кварца, содержащих разные формы
углерода (мг/кг)

Месторождение	CO ₂	H ₂ O	CH ₄	CO	N ₂
Плутоногенные - ранние жилы					
Еланное	73,2	1502,3	2,3	1,0	100,5
Хангалас	235,2	362,9	-	8,9	45,9
Утиńskое	386,3	841,8	28,7	-	58,5
Штлер	23	220,2	4,7	-	43,6
Нежданниковское	540,5	15222,5	-	19,9	130,3
Плутоногенные - поздние жилы					
Эргелях	391,0	253,0	10,4	-	117,6
	24,0	48,7	19,9	-	следы
	24,5	145,1	23,7	-	27,5
	49,5	1049,6	21,5	-	123,7

Информацию несут типоморфные (в классическом понимании термина типоморфизма) свойства кварца. Согласно В.И.Павлишину (1983), типоморфными свойствами жильного кварца являются морфология зерен, существование Al - O^{-(R)} центров, степень его совершенства, окраска и термолюминесценция. Состав и свойства кварца-I, описанные в гл.4, позволяют сделать ряд генетических выводов об условиях образования кварца.

В настоящее время доказано, что в зависимости от условий образования кварца существуют определенные закономерности распределения в нем как структурного (Балицкий, 1978; Румянцев, 1979), так и неструктурного (Chernov, Khadzi, 1968; Dennen et. al., 1970) алюминия.

Выше уже было высказано предположение, что существование двух пиктов концентраций алюминия в области 100-500 г/т может быть связано с условиями формирования кварца. По данным термометрии газово-жильных включений, температуры образования кварца для обоих типов различаются незначительно, т.е. температурный фактор (Каменцев, 1967; Балицкий и др., 1966) не может играть заметной роли в распределении алюминия. В таком случае на первый

план выходит прямая зависимость вхождения алюминия в кварце от скорости его роста (Румянцев, 1979), причем этот фактор преобладает по сравнению с другими как для структурного алюминия, так и неструктурного. Последний при достаточно высоких скоростях роста включается в виде коллоидно-дисперсных комплексов (Chernov, Khadzi, 1968). Практическая же идентичность параметров элементарной ячейки исследованных образцов кварца, имеющего разные содержания алюминия (от минимальных 50 г/т до максимальных, не связанных с включениями других минералов - 500-600 г/т), свидетельствует в пользу высоких содержаний в кварце-I именно неструктурных форм алюминия, что в свою очередь позволяет говорить о высоких скоростях его образования. На высокие скорости образования кварца указывают несовершенство его строения (см.табл.16), повышенные значения диэлектрических потерь (см.табл.17), а также характер изменения термолюминесцентных свойств кристаллов и жильного кварца (рис.27-29). Поскольку эти свойства зависят от дефектности строения кварца, определяемой условиями его образования, то соответственно они являются индикаторами этих условий. Существующая разница в составе и свойствах кварца-I для обоих типов говорит об относительно медленных скоростях образования кварца золото-редкометалльных жил позднего этапа, что подтверждается и текстурными их особенностями. Так, для этих жил наряду с широким распространением массивных текстур большим распространением пользуются друзовые. В то же время наличие "подвешенных" обломков вмещающих пород, незначительное развитие и хаотичное расположение мелких друзовых занорышей в теле жил, массивная неясновзернистая текстура в золото-кварцевых жилах указывают на относительно быстрое "спонтанное" их образование.

Вторым по важности фактором, влияющим на распределение алюминия в кварце, является кислотность-щелочность растворов в момент образования кварца. Оней можно судить по изменению окраски кварца после облучения его рентгеновскими или гамма-лучами, а также по характеру радиотермолюминесценции. Появление дымчатой или дымчато-цитриновой окраски свидетельствует об образовании кварца в щелочных средах (возникают Al-Na или Al-Li центры окраски), а в кислых средах образуется радиационно устойчивый кварц (центры типа Al-H), который не окрашивается (Цинобер, Саймолович, 1971; Балицкий, 1978; Румянцев, 1979). Неструктурный

алюминий, образующий так называемые примеси внедрения, под воздействием облучения не проявляется (Cohen, Hodge, 1958). Облучение кварца-I разных хил рентгеновскими лучами (Mo-антикатод, I - 12-14 м, U - 35 кВ, t - 10 ч) привело к потемнению практических всех образцов с появлением у исходного молочно-белого кварца дымчатой окраски, т.е. под воздействием облучения возникли Al-Na и Al-Li центры окраски. Таким образом, в кварце-I можно констатировать присутствие структурного алюминия и связанных с ним щелочных центров окраски, свидетельствующих об образовании кварца золото-кварцевых месторождений региона в щелочной среде. Это подтверждают и радиотермоминесцентные характеристики кварца.

По-видимому, происходит быстрая "спонтанная" кристаллизация кварца. Она может осуществляться из пересыщенных высококонцентрированных по кремнезему, полимерных растворов, на возможность широкого распространения которых в природе указывали В.А.Нарссеев (1973), В.С.Кормилицин (1973), В.Н.Румянцев (1981, 1983).

Очевидно, золоторудные месторождения золото-кварцевой формации были образованы из высококонцентрированных по кремнезему полимерных растворов (Нарссеев, 1964; Минцер, 1967; Кормилицин, 1973 и др.). В нашем случае образование кварца происходит при расслоении гидротермальной системы на две фазы - существенно кварцевую "тяжелую" и "легкую", представляющую собой остаточный раствор, содержащий комплексные соединения свинца, цинка, меди, сурьмы, золота и др., распад которых приводит к формированию послекварцевых ассоциаций минералов, обычно продуктивных на золото. В пользу этого как раз и свидетельствует существование двух групп газово-жидких включений в раннерудном кварце и двух типов ловушек в его структуре, имеющих разные, но близкие энергетические уровни захвата. Оба факта являются отражением взаимодействия быстро сформированной массы кварца (кварцевой матрицы) с остаточными растворами, отлагавшими послекварцевые минералы. На это же указывает и закономерное изменение калинатрового отношения в ряду ассоциаций кварца с "сокварцевыми" и "послекварцевыми" ассоциациями (см.рис.21).

Представления о формировании кварцевых хил из "густых студенистых растворов кремнезема" появились еще, по данным Ф.В.Чурова (1955), в конце прошлого века и получили развитие в первой половине нашего столетия (Холмов, 1929; Левицкий, 1939; Чуров, 1948; Чуриков, 1956). При изучении золоторудных месторож-

дений к такому выводу впервые пришли В.Уайт (White, 1943), Ю.А.Билибин (1945) и Г.П.Барсанов (1945). Подобную точку зрения наиболее последовательно отстаивал Л.В.Фирсов (1957, 1966, 1974). Основанием для этого ему послужило детальное изучение морфологии хил и прожилков (тупиковые, пластичные окончания хил, реликты колломорфного строения кварца, подвешенные и перемещенные обломки вмещающих пород в теле хилы), а также структурно-морфологические особенности кварца и слабое развитие околосложильных изменений вмещающих пород. На формирование золото-кварцевых тел из высококонцентрированных растворов Уральских месторождений указывал А.Н.Игумнов (1951, 1970), месторождений Енисейского края - Н.В.Петровская (1956), Северного Казахстана - В.М.Гришин (1970, 1971), В.А.Нарссеев (1973, 1983), Забайкалья - П.Ф.Иванкин с соавторами (1967, 1970) и В.С.Кормилицин (1973, 1983).

Однако генетический смысл их интерпретации был различен и сводился либо к мысли об участии коллоидных растворов в формировании кварцевых хил (А.Н.Игумнов, Л.В.Фирсов), либо к гипотезе о полимерных растворах кремнезема (В.А.Нарссеев, В.М.Гришин, В.С.Кормилицин). Эти представления базировались в основном на геологических наблюдениях обычно без изучения свойств как кварца, так и других минералов. В этом плане полученные нами данные дополняют материалы вышеуказанных исследователей.

Изучение физико-химических процессов в кремнеземсодержащих гидротермальных растворах показало, что их эволюция в условиях Т и Р, совпадающих с природными, приводит к обязательному фазовому расслоению на тяжелую, существенно кремнеземную, фазу и легкую, обогащенную кремнеземом (Бутузов, Брятов, 1957; Ганеев, 1974). Термодинамический анализ таких систем позволил В.Н.Румянцеву (1981) обосновать обязательность расслоения их в природе. Если сопоставить графики Р-Т условий расслоения с Р-Т условиями кристаллизации природного кварца (рис.33), то выявляется любопытная картина, показывающая практически полное их совпадение. Следовательно, можно говорить, что высокотемпературные газово-жидкие включения (250-420°C в нашем случае) образовались в период расслоения и формирования кварцевой массы хил. В то время как при воздействии гидротермальной остаточной среды "тяжелая фаза", представляющая собой аморфный кремнезем и растворимые силикаты натрия и калия, должна переходить в наиболее энергети-

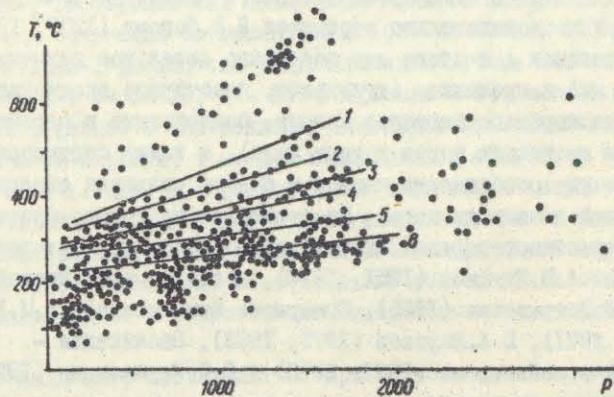


Рис.33. Р-Т условия образования природного кварца (точки, по данным Г.Б. и В.Б.Наумовых, 1977) и Р-Т условия расслоения в системе $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}\text{-Na}_2\text{O}\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (по В.Н.Румянцеву, 1981). Состав растворителя: 1 - 0,2 М $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-}0,2 \text{M NaCl}$; 2 - 2,3 - $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-}0,5 \text{ M}$; 3 - 1,0 M; 4 - 4-6 - NaOH - 0,5 M; 5 - 1,0 M; 6 - 1,5 M

чески выгодное состояние – кварц (Комаров и др., 1982). Причем при повышенных давлениях прямой "спонтанный" переход в кварц в гидротермальных условиях облегчается наличием отвердителя, каковым для полимерных растворов кварца является углекислота (Летников, Вилор, 1981), присутствие которой фиксируется в составе газово-жидких включений в кварце.

Таким образом, происходит формирование основной массы кварца золотоносных жил. С точки зрения геологического времени этот процесс очень короток, практически мгновенен. Именно он определяет позднее отложение по отношению к кварцу продуктивных минеральных ассоциаций, которые отлагались из остаточных растворов, в некоторых случаях – с незначительным количеством позднерудного кварца. Дальнейшая эволюция раствора, несомненно, происходила при переходе аморфного кремнезема в кварц на фоне не прекращающейся тектонической активности вмещающей среды, что привело к деформации образующегося и уже образованного кварца. Процесс этот облегчался присутствием самой "легкой" фазой раствора (White, 1971), которая проникала по порам и трещинам, участкам деформации структуры в уже сформированном кварце. Из "легкой" фазы в определенном порядке (в соответствии с изменениями физико-

химических параметров) отлагались поздние продуктивные и после-продуктивные ассоциации минералов. Вероятно, во время такого процесса происходили деформации кристаллов турмалина (см.рис.20) и образующихся метакристаллов сульфосолей (см.рис.17) захват их до-расташающими кристаллами кварца-I (см.рис.18), дробление и цемента-ция арсенопирита и вольфрамита и образование кварца-II. В резуль-тате взаимодействия образующегося кварца-I с растворами, отла-гавшими поздние рудные минералы и кварц-II (с "легкой" фазой) в кварце-I возникли первично-вторичные газово-жидкие включения, имеющие низкие температуры консервации. Этот же процесс фикси-рует и метод термолюминесценции – один из самых чувствительных к преобразованиям структуры и реального строения кварца. Появле-ние второго низкотемпературного пика ЕПЛ у кварца-I, характери-зующегося низкой энергией активации, и отражает, по-видимому, образование в нем определенных групп захвата электронов, фикси-рующих воздействие остаточных растворов на кварц.

Таков, по нашему мнению, механизм формирования золотоносных кварцевых жил на изученных месторождениях рассматриваемого рай-она. Геологические и минералогические особенности большинства известных золоторудных месторождений нашей страны (раннее выде-ление кварца по отношению к поздним продуктивным ассоциациям, особенности морфологии и структур жил, закономерности размеще-ния минералов-спутников золота) позволяют нам вслед за П.Ф.Иван-киным с соавторами (1970) распространить предполагаемый механизм на большую часть месторождений золото-кварцевой формации.

В то же время возникает вопрос, а могут ли такие высококон-центрированные растворы кремнезема существовать в природе? И каков механизм их образования?

Возможность существования высококонцентрированных растворов кремнезема в природе обусловлена его высокой растворимостью в форме полимерных соединений (анионов кремневой кислоты), т.е. образованием полимерного раствора. В гидротермальных растворах в условиях повышенных Т и Р в щелочной среде может существовать довольно высококонцентрированный (8–10%) раствор кремнезема (Ми-цик, 1974), который при увеличении Р-Т условий (область кристал-лизации гранитоидных магм) переходит в особый флюид, содержащий уже до 75% кремневой кислоты. Исследования Ф.А.Летникова и Н.В.Вилора (1981) также показали резкое увеличение растворимос-ти кремнезема как в воде, так и в растворах солей с увеличени-ем температуры в виде поликонденсированных форм. Высокие кон-

центрации кремнезема во флюидах (Мицк, 1974) дает основание считать, что магматический расплав, формирующий массивы гранитоидов, с которыми в районе пространственно связано большинство месторождений золота (Гамянин, Горячев, 1991), является источником кремнезема.

Согласно А.А.Калику с соавторами (1971), возможен в частности процесс двухэтапного отделения воды (флюида) отмагмы, начиная в глубинных, более высокотемпературных условиях, а затем (вследствие достижения экстремума) после перерыва, при кристаллизации системы. Наличие же во флюиде углекислоты приводит к отделению его на еще более раннем этапе существования расплава. Именно на этом этапе происходит, вероятно,брос высококремнеземистых флюидов, образовавших золото-кварцевые жилы раннего этапа (Гамянин, Горячев, 1991).

Образование концентрированных растворов-расплавов отмечается и на заключительных стадиях магматического расплава – как остаточных флюидных выжимок, что было убедительно показано А.И.Захарченко (1976) на примере изучения включений в минералах пегматитов. Это подтверждают такие выявленные переходы жил албитовых гранитов непосредственно в кварцевые жилы, иногда содержащие золотоносные сульфиды (Рожков и др., 1971), существование широк существенно кварцевого и чисто кварцевого состава, жил силикситов и кварцолитов, генетически связанных с гранитоидами (Ермаков, 1960). Подробно этот вопрос рассмотрел В.Н.Румянцев (1983).

Таким образом, принципиальное возникновение высококремнеземистых растворов вполне вероятно как с точки зрения эксперимента, так и в свете известных геологических факторов. Процесс формирования золотоносных кварцевых жил можно представить следующим образом.

1. При дифференциации гранитоидного расплава в глубинном магматическом очаге (а скорее в промежуточном) происходит обособление флюидной фазы, содержащей высокие концентрации кремнезема.

2. Отрыв этих флюидов, их высокая миграционная способность при значительных Р-Т условиях среди позволяют им некоторое время существовать довольно устойчиво.

3. Проникая по ослабленным зонам в сферу рудоотложения, они достигают Р-Т условий, приводящих к расслоению (ликвации) на

две фазы – "тяжелую" и "легкую". Первая за счет реакции полимеризации на фоне падения давления быстро "спонтанно" переходит в кварц, а вторая за счет выделившейся энергии (процесс полимеризации экзотермичен) может некоторое время существовать в виде гидротермального раствора и мигрировать посредством инфильтрации или диффузии в верхние части жильных тел. В условиях меняющихся давлений (тектонически активные зоны смятия и дробления) движение (проникновение) легкой фазы, вследствие структурных перекосов и раздузов, затрудняется из-за возникновения местных перепадов давления, что ведет к образованию волновой зональности оруденения (Гамянин, Горячев, 1983).

Если рассматривать генезис кварцевых жил под таким углом зрения, то, по нашему мнению, можно хорошо объяснить существующую вертикальную минеральную зональность золотого оруденения района (Гамянин, 1969). Накопление позднерудных ассоциаций в верхних частях колонны – следствие большой проникающей способности остаточной ("легкой") фазы, несущей в себе растворенные комплексные соединения полезных компонентов. Более того, поскольку процесс полимеризации энергетически выгоден, то существование самой "легкой" фазы должно быть закономерным (есть источник дополнительной энергии) и пути миграции ее должны фиксироваться в кристаллизующемся кварце участками повышенной дефектности его структуры. А это, в свою очередь, приводит к изменению его свойств и прежде всего термолюминесценции и диэлектрической проницаемости, что позволяет применять их для выявления скрытой зональности оруденения (Гамянин и др., 1983; Горячев, 1983).

Глава 7. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИПОМОРФНЫХ ПРИЗНАКОВ КВАРЦА

При поисково-оценочных работах, для поисковой минералогии важно выявление либо минерала, либо их свойств – индикаторов руд, формаций, зональности оруденения и т.д. (Гинзбург и др., 1981). Соответственно при изучении типоморфизма любого минерала руд необходимо ставить задачу выявления таких его свойств, которые могут являться поисковыми признаками оруденения, индикаторами формационной принадлежности оруденения и его зональности. В данном случае типоморфное свойство минерала понимается

как его признак, специфичный для определенного типа жил, месторождений и формаций. Генетические типы жил соответствуют известным в регионе золоторудным формациям (см.табл.8), поэтому изучение жильного кварца позволило выделить его признаки, имеющие прикладное значение.

I. Типоморфные признаки кварца как критерии формационного расчленения руд

Жильный кварц обладает рядом особенностей, отражающих формационную принадлежность сопутствующей ему минерализации. Это относится как к его составу, так и к физическим свойствам (см.л.4).

Распределениеrudогенных элементов-примесей, в частности серебра, мышьяка, сурьмы, висмута, вольфрама, олова и молибдена, четко фиксирует формационные типы оруденения (табл.27). Кроме того, следует отметить появление герmania в кварце касситерит-кварцевых месторождений, а галлия - в кварце золото-серебряных месторождений.

Помимо этого, наблюдается закономерное изменение калинатривного отношения в золоторудных жилах - от 1,14 в золото-редкометаллических до 2,50 в золото-кварцевых и >5,0 в золото-серебряных. Последние четко выделяются по высоким содержаниям лития и алюминия в кварце.

Согласно нашим исследованиям, характер термолимограмм кварца обладает определенной спецификой в зависимости от минеральной нагрузки жил (рис.34), хотя в целом здесь в большей степени все обусловлено генетическим типом жил (близость ЕГИ-грамм кварца золото-редкометаллических и касситерит-кварцевых жил). В то же время внутри золото-кварцевой формации кварц месторождений полиметаллического типа отличается меньшей интенсивностью ЕГИ по сравнению с кварцем месторождений сульфантимонитового типа (табл.28). Для месторождений формаций малых глубин типичными являются однопиковые, весьма интенсивные термолимограммы (золото-серебряная формация, касситерит-силикатная и касситерит-сульфидная Омсукчанского района), а для более глубинных - двух-трехпиковые, менее интенсивные (см.рис.34). Следует отметить четкое различие в структурных свойствах кварца. Так, для золото-серебряных объектов типоморфны высокие объемы элементарной ячейки кварца по сравнению с золотокварцевыми и минимальные значения индекса СКС (см.табл.17).

Поздний кварц-III, проявленный на некоторых месторождениях

Таблица 27
Элементы-примеси в кварце месторождений рудных формаций Северо-Востока СССР (г/т)

Формация	Sb	Pb	As	W	B1	Mo	Sn	Cu	Ag	Zn	N1	Co
Золото-кварцевая (201)	-	5,3	47*	1,4	2,3	-	-	5,4	0,14	34	1,9	4,1
Золото-редкометалль-ная (70)	-	6,1	-	3,2*	12,5*	-	1,0	6,9	0,35	45	3,3	6,9
Золото-сурьмя-ная (13)	-	3,3	-	4,4	2,8	-	2,0	1,6	2,1	1,3	1,8	2,3
Золото-серебряная (31)	-	55*	1,9	-	3,8	-	1,6	4,6	0,28	39	2,7	5,8
Касситерит-кварцевая (58)	-	4,3	4,6	-	1,5	-	3,7	1,7	2,0	1,2	1,4	1,5
Касситерит-силикатная (18)	-	41*	9,1	-	4,1	-	1,3	8,5	0,55*	52	2,8	5,0
Касситерит-легмети-това (6)	-	3,3	5,3	-	2,4	-	3,2	1,8	2,5	1,5	1,5	4,5
Молибденит-кварцевая (14)	-	1,9	55*	-	2,7*	5,4	0,35*	3,5*	7,4	0,18	40	1,8
		4,3	2,8	-	2,6	2,4	2,5	3,1	1,5	1,5	1,3	2,0
		9,0	55*	-	2,1*	4,7	0,63*	31*	9,9	0,51*	58	2,8
		3,0	3,2	-	1,9	2,0	2,6	4,0	1,7	1,8	1,7	5,4
		5,4	43*	-	-	-	5,5*	4,0	0,21	56	2,8	2,4
		4,4	2,9	-	1,9	-	1,5	1,3	1,3	1,6	1,6	4,5
		2,1	-	-	1,6	3,4	3,1*	5,3	6,2	0,19	49	2,5
		1,7	-	-	1,7	-	3,0	1,6	1,3	1,1	1,3	1,6

*Типоморфный элемент.

Примечание. Верхняя строка - среднее геометрическое никакая - стандартный множитель. Проба - элемент не обнаружен на уровне чувствительности количественного спектрального анализа. В скобках - кол-во проб.

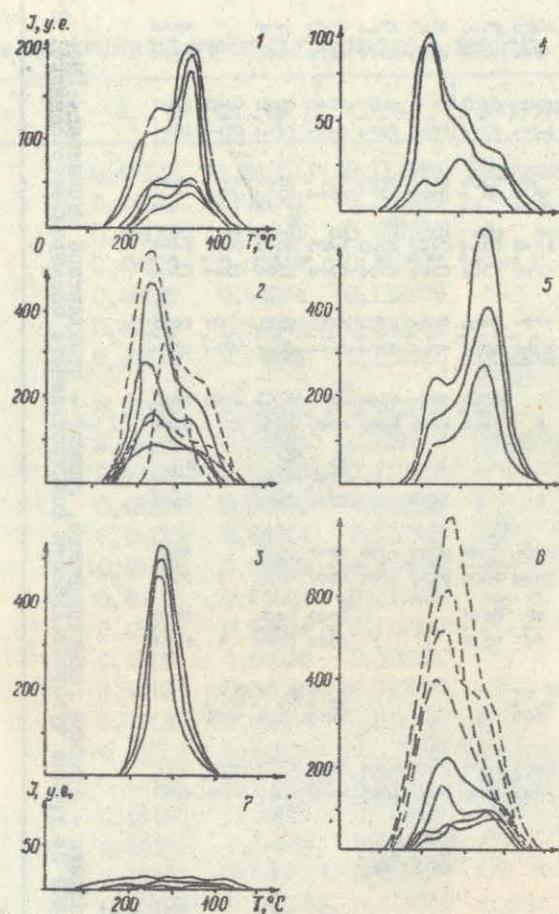


Рис.34. Типовые кривые ЕГЛ жильного кварца месторождений разныхрудных формаций: 1 - золото-редкометалльной, 2 - золото-кварцевой (штрих-пунктир - золото-сурьмяной), 3 - золото-серебряной, 4 - касситерит-пегматитовой, 5 - касситерит-кварцевой, 6 - касситерит-силикатно-сульфидной (штрих-пунктир - малых глубин), 7 - безрудного метаморфогенного кварца

Таблица 28

Средние значения параметров ЕГЛ кварца
золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса

Месторождение	Интенсивность ЕГЛ, усл.ед.	
	I_1	I_2
Золото-кварцевая формация, полиметаллический тип		
Ханное (9)	58	30
Базовское (14)	20	19
Курдат (17)	103	80
Хангас (15)	125	70
Дорожное (4)	153	97
Лазовское (II)	115	83
Мальдяк (6)	207	105
Светлое (41)	204	80
Наташка (7)	193	61
Золото-кварцевая формация, сульфоантимонитовый тип		
Тунгусское (5)	267	110
Утинское (36)	120	59
Юлер (5)	77	72
Юконджа (3)	380	227
Имтачан (15)	416	144
Талалах (12)	259	99
Лазурное (10)	64	38
Нежданчикское (170)	120	65
Дайковое (7)	438	221
Малтан (4)	211	103
Школьное (19)	1119	309
Золото-редкометалльная формация		
Эргелихское (27)	85	235
Курумское (4)	97	141
Цыбинское (40)	72	85
Тугучак (7)	49	97
Чистое (2)	26	59
Басутунья (2)	33	57
Версаль (2)	112	153

Окончание табл.28

Месторождение	Интенсивность ЕТЛ, усл. ед.	
	I ₁	I ₂
Золото-сурымная формация		
Среднее по нескольким месторождениям-молочно-белый кварц (26)	463	157
Примечание. В скобках кол-во проб.		

Таблица 29

Параметры ЕТЛ жильного кварца Оемку-Джедагского рудного поля (Северный Сихотэ-Алинь)

Жила	Интенсивность ЕТЛ, усл.ед.	
	I ₁	I ₂
Золотая (2)	127	50
Молодежная (2)	72	50
Нижняя (I)	88	81
Контактовая (I)	232	65
Утренняя (3)	90	37
Геофизическая (5)	151	75
Редкометалльный штокверк (4)	82	131
Примечание. В скобках - кол-во проб.		

золото-кварцевой формации, обладает высокими калинатовыми отношениями, постоянной и очень высокой примесью лития и алюминия, присутствием галлия, бора и олова (см.табл.13). Для него обычен большой объем элементарной ячейки, однопиковая термомограмма высокой интенсивности. По этим признакам поздний кварц однотипен с кварцем золото-серебряных месторождений (Гамянин, Горячев, 1988), а также с "рисовидным" кварцем золото-сурымных месторождений, что позволяет отнести его к продуктам самостоятельного позднего этапа гидротермальной деятельности. Эти данные, а также полное сходство раннего кварца золото-сурымных месторождений с кварцем-I золото-кварцевых жил свидетельствуют в пользу полиформационности золото-сурымного оруденения. Сравнение некоторых особенностей состава и свойств кварца нашего региона с месторождениями других регионов показывает их близость. Так, изучение ЕТЛ кварца месторождений и проявлений Оемку-Джедагского узла, описанного И.В.Кунаевым (Изох и др., 1967), позволило выделить кварцевые жилы двух формаций: золото-кварцевой и золото-редкометалльной. Эти данные (табл.29) позволяют отрицать фациальную зональность оруденения в пределах узла и принадлежность всех месторождений к золото-редкометалльной формации. Имеющиеся в нашем распоряжении материалы по кварцу месторождения Зарытан (рис.35а, табл.30) и Бакырчик (рис.35б) дают основание считать первое золото-редкометалльным, а второе - золото-кварцевым, хотя в месторождении Зарытан установлен сложный комплекс сульфосолей и сульфотеллуридов, что затрудняло отнесение его к той или иной формации, сопоставимой с выделяемыми на Северо-Востоке СССР. Принадлежность месторождения Бакырчик к золото-кварцевой формации подтверждается В.А.Нарсеевым (1973). В то же время месторождения Урала (Березовское, Кумакское, Айдылинское) отличаются крайне низкой интенсивностью ЕТЛ (рис.35,в) в сравнении с золоторудными месторождениями, рассмотренными выше, а также между собой. Возможно, это специфично только для уральских месторождений. Интересны материалы по золото-серебряному орудению. Анализ имеющихся у нас данных по месторождениям Северо-Востока СССР, Камчатки, Курильским островам позволяет выявить признаки, присущие близповерхностному орудению данного формационного типа. К ним относятся аномально высокие концентрации алюминия и лития, объемы элементарной ячейки, интенсивный однодвухшниковый характер ЕТЛ, низкая СКС. С учетом материалов гл. I

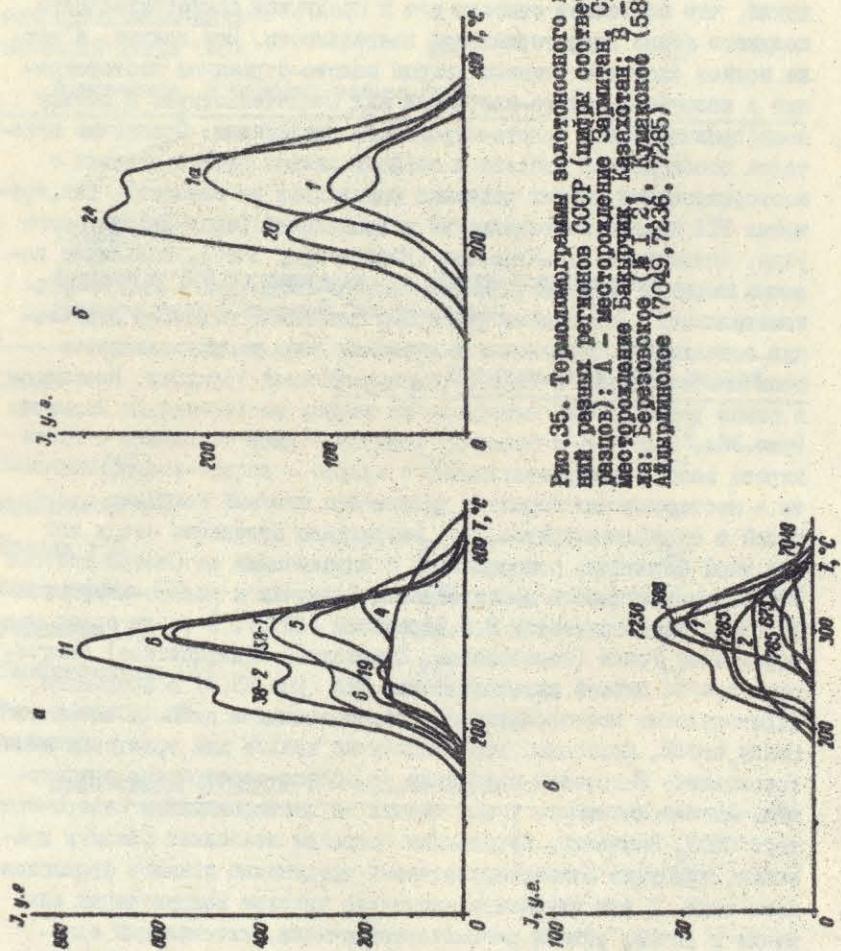


Рис. 35. Термолюминесцентные золотоносные кварцы месторождений разных регионов СССР (цифры соответствуют номерам образцов): А - месторождение Заряжан; Средний Азия;^Б
месторождение Бакчарук; Казахстан; ^В - месторождение Урал; ма: березовское;^Г - Кумыкский; ^Д - Алькинское

Характеристика рудного залежи Заречанского месторождения

# образца	Минералы-помутнители	K_2O	Na_2O	L ₁ 4 ₂ 0	СКС	1 ЕТЦ 1 230	1 ЕТЦ 1 320
I	-	60	II0	-	53	100	140
2	Арсеноцирт	20	70	1,6	62	55	60
4	Сфalerит, арсеноцирт	-	400	1,6	57	140	125
5	Арсеноцирт	Не опр.	Не опр.	Не опр.	145	295	
6	Галенит, арсеноцирт	To же	To же	To же	To же	175	585
III	Сульфосоли	"-	"-	"-	"-	495	765
19	Арсеноцирт	20	130	-	50	160	190
24	To же	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	65	75
25	"-	60	100	3,9	47	70	100
38	Сульфосоли	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	315	470
39	"-	100	II0	1,6	58	50	70

Проме чакане. Содержание окислов марганца в г/т, СМК - в %, ЕМ - в усл.ед.

можно считать эти характеристики типоморфными для малоглубинного юльского вулканогенного кварца. Опубликованные материалы по изучению параметров элементарной ячейки (Коновалов, 1985) Токурского месторождения в совокупности с данными Г.А.Юргенсона и Т.Н.Юргенсон (1989) позволяют относить это месторождение к золото-серебряной формации. На что, кстати, указывают и текстурно-структурные особенности кварцевых жил (Остапенко, Беда, 1983). Обобщенные данные об индикаторных свойствах кварца (табл.31) свидетельствуют о возможности использования тех или иных методов изучения кварца при рудно-формационном анализе.

7.2. Типоморфные признаки кварца как критерии зональности рудных тел и месторождений

Ранее нами было показано, что такие свойства, как термоминесценция и диэлектрическая проницаемость, являются довольно чуткими индикаторами условий образования и преобразования кварца и могут отражать скрытую зональность месторождений. Проблемам выявления зональности рудных месторождений посвящено много работ (Смирнов, 1976; Онтоев, 1974; Нарссеев, 1973 и т.д.). При этом не последнее место занимают минералогические методы определения скрытой зональности оруденения. В этой связи максимальный интерес вызывает кварц как один из наиболее распространенных минералов. Изучение его свойств привело к выявлению в некоторых месторождениях скрытой зональности оруденения. На примере детально разведенного Некданинского месторождения наряду с минеральной и геохимической зональностью была обнаружена и скрытая – зафиксированная в составе и свойствах основных минералов руд, в том числе и кварца (Гамзин, Горячев, 1983).

Анализ термоминесценции и диэлектрических свойств кварца этого месторождения в пределах отдельных рудных тел (в вертикальной плоскости) показал закономерную изменчивость этих свойств, совпадающую как с элементами минеральной зональности (рис.36), так и с изменчивостью состава некоторых рудных минералов. Вертикальная зональность сводной колонны золото-кварцевых месторождений выражается в обогащенности кварца верхних частей ее (точнее, месторождений, относящихся к ним) элементами-примесями, характерными для господствующих здесь минеральных ассоциаций. Это хорошо иллюстрируется на примере месторождений Имтачан. Верхний (Имтачан-В) и нижний (Имтачан-Н) участки этого месторождения гипсометрически отстоят друг от друга на 200 м.

Таблица 31
Индикаторные признаки пуллоформационной принадлежности юльского кварца

Формация	Признак	Объем элементарной ячейки, nm^3	σ_{DCS} , $\mu\Omega$	K_{ϵ}	ЕМ
Золото-кварцевая	<u>As, Sb, Pb, Ag</u>	<0,113	30-80	51	$I_1 > I_3$ $2-8$
Золото-ртутиковатая	<u>As, Hg, Bi</u>	<0,113	41-90	64	I_2 $I_1 < I_3$
Золото-серебряная	<u>Ag, Au, As, Sb</u>	$\geq 0,113$	28-50	40	I_2 $2-30$
Безрудные жилы	—	<0,113	48-88	66	Цик не выписан
				—	—

Примечание. Верхняя строка – среднее арифметическое, нижняя – пределы; выделены эксклюзивные индикаторные признаки.

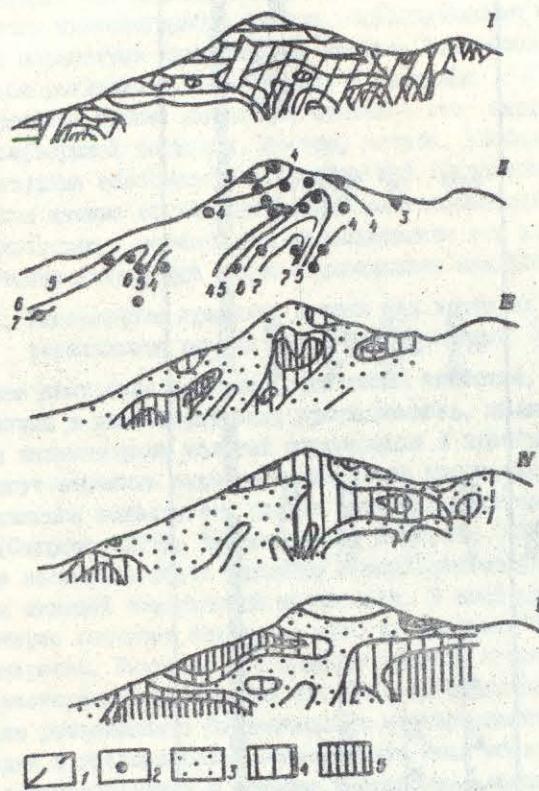


Рис.36. Вариации ЕТЛ (I) и коэффициента диэлектрических потерь (II) кварца-I и минеральная зональность (III-галенит+сфалерит; IV - сульфосили; V - арсенопирит+пирит) в вертикальной плоскости рудной зоны № I Некхданинского месторождения. 1 - изолинии коэффициента диэлектрических потерь; 2 - точки отбора проб для измерения диэлектрических характеристик; 3-5 - содержание минералов: 3 - принципиальное присутствие, 4 - оптимальное количество, 5 - количество, которое можно выразить в %. Для ЕТЛ - густота штриховки прямо пропорциональна интенсивности

На верхнем преобладает блеклорудная ассоциация минералов, на нижнем - арсенопиритовая и галенит-сфалеритовая. Соответственно для кварца Имтачана-В типичны (табл.32) более высокие концентрации меди, свинца, серебра и сурьмы (в 1,5-1,9 раза) и низкие - цинка (в 2 раза). Это, а также общая обогащенность кварца месторождений сульфоантимонитового полигена сандином, серебром и

Таблица 32

Распределение рудогенных примесей в кварце разных участков месторождения Имтачан (г/т)

Участки	ЕТЛ	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Sb	W	N1
B (II)	600 245	32,4 112,4	16,3 117,0	14,6 68,1	0,45 112,1	46,4 116,7	21,8 60,9	3,0 174,6	1,1 85,0
H (II)	100 52	18,4 44,9	9,6 149,8	11,0 82,4	0,24 89,7	119,0 91,0	15,0 56,7	2,8 137,1	1,6 120,7

Примечание. В скобках - кол-во проб. Верхняя строка - среднее арифметическое, нижняя - коэффициент вариации (%), для ЕТЛ - стандартное отклонение.

сурьмой свидетельствуют о том, что кварц месторождений верхних частей гидротермальной колонны обогащен этими элементами, которые могут служить индикаторами малого эрозионного среза оруденения. Подобным же образом меняется и интенсивность термолюминесценции.

Изменчивость свойств кварца проявилась в уменьшении с глубиной интенсивности ЕТЛ, иногда монотонном, но чаще волнообразном (табл.33). Так, ЕТЛ кварца жилы № I месторождения Светлого увеличивается в участках рудных столбов (рис.37), где наблюдается и резкая изменчивость ТЭДС арсенопирита и намечается линия инверсии проб золота. Для жилы № I4 Некхданинского месторождения такая закономерность не отмечена, но в ней (рис.38) устанавливаются члены изменения состава и свойств кварца по отношению к флангам жилы, особенно в местах сочленения с основной рудной зоной месторождения и в соответствии с ее зональностью (Гаминин, Горячев, 1983).

При сопоставлении параметров ЕТЛ кварца с генеральной вертикальной зональностью золотого оруденения региона (гидротермальной колонны) наблюдается близкая картина. Кварц верхних частей обладает максимальной интенсивностью ЕТЛ и в меньшей степени повышенными значениями диэлектрических свойств. Следовательно, характер изменений состава и свойств кварца-I соответствует зонационной зональности оруденения и может рассматриваться в качестве критерия для оценки относительной глубины эрозионного среза месторождений. В то же время использовать рассматриваемые признаки в отрыве друг от друга не всегда правомерно, так как на них оказывают влияние условия образования конкретных место-

Таблица 33
Изменчивость физических свойств кварца с глубиной

Месторождение, жила	Горизонт, м	СКС, %	Интенсивность ЕГЛ, усл.ед.
Нежданинское, № I4	I050	59(2)	I25(4)
	I000	60(4)	-
	900	53(3)	I00(2)
	850	-	79(I)
	800	51(3)	67(5)
	700	55(4)	52(5)
Школьное, № I	II90	53(5)	II40(2)
	II50	57(7)	I264(8)
	II00	61(2)	II75(2)
	I045	59(7)	I099(6)
	950	-	II75(4)
	700	-	720(I)
Светлое, № I	935	-	246(8)
	865	-	254(10)
	815	-	180(15)
	770	-	I35(7)

Примечание. В скобках - кол-во проб.

рождений. Особенно это сказывается на значениях термомаксимесценции. Поэтому для суждений об оценке эрозионного среза для большей достоверности следует использовать комплекс методов изучения кварца. Так, в табл. 34 сопоставлены ряды изученных свойств кварца, ранжированных в порядке уменьшения. Как видно, несмотря на некоторые различия в составе вертикальных рядов месторождений региона, построенных по разным признакам, основной ряд, определяемый по их совокупности, практически не отличается от ряда, установленного по минералогическим признакам.

Горизонтальная зональность рассматриваемых месторождений проявлена менее контрастно. В качестве примера можно привести

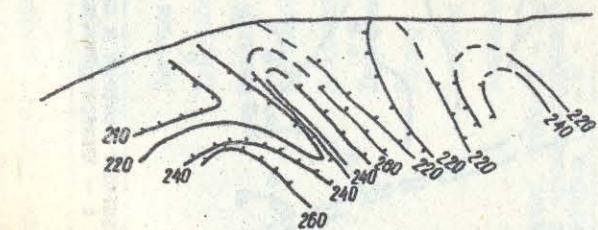
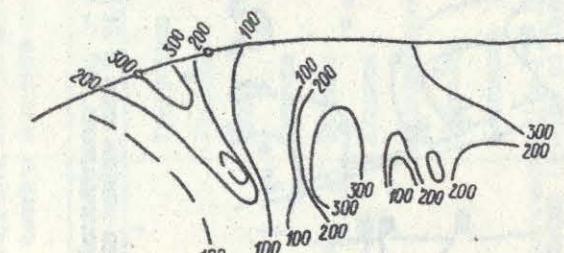
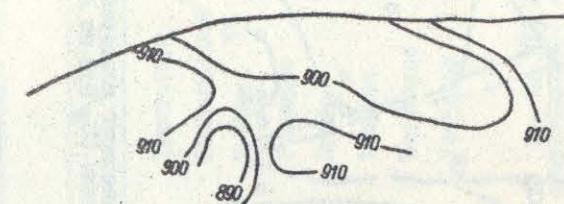
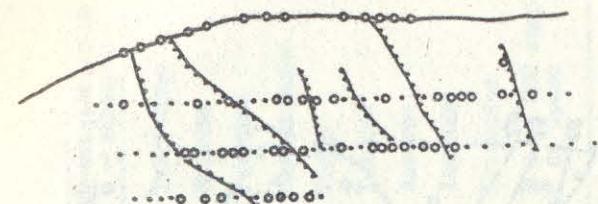


Рис.37. Скрытая зональность жилы № I месторождения Светлое (крупные точки — места отбора минералогических и геохимических проб, мелкие — только геохимических). 1 — рудные столбы; 2 — зональность: 2 — пробы золота, 3 — интенсивность ЕГМ квадрата, 4 — коэффициент термо-ЭИК арсенопирита

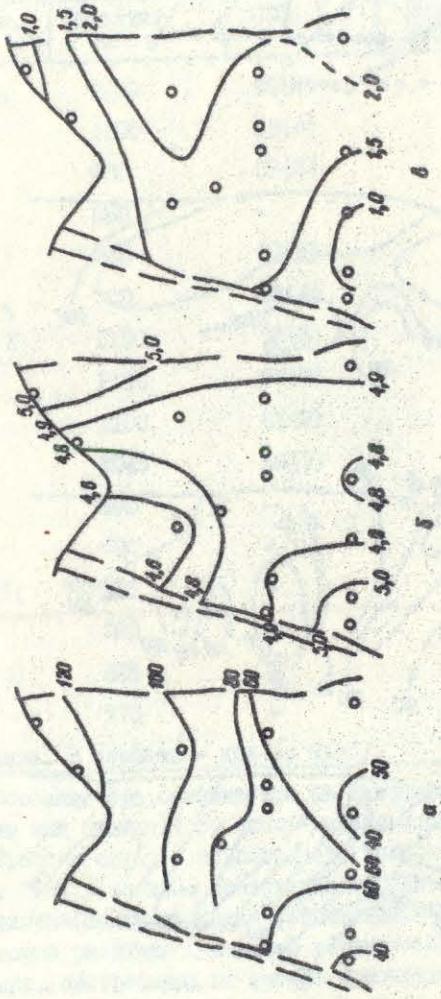


Рис. 38. Вертикальные сечения по составу золотых жил № 14 Некхтинского месторождения: а - интенсивность ЕПЛ, б - диапазон пропицаемости, в - отношение $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, по данным ИК-спектроскопии

Таблица 34
Вертикальные ряды (I-У) золотоносных месторождений Яно-Коминского пояса,
по данным изучения золота и состава золотого кварца

	I	II	III	IV	V	VI	У
Тунгусское	Имтачан	Тунгусское	Тунгусское	Тунгусское	Некхтинское	Некхтинское	Тунгусское
Угинское	Тунгусское	Утинское	Утинское	Утинское	Имтачан	Имтачан	Имтачан
Юмер	Талалах	Юмер	Юмер	Юмер	Талалах	Талалах	Юмер
Некхтинское	Утинское	Имтачан	Имтачан	Имтачан	Хданное	Хданное	Хданное
Имтачан	Некхтинское	Талалах	Талалах	Талалах	Некхтинское	Базовское	Базовское
Талалах	Хангалаас	Хданное	Хданное	Хданное	Хангалаас	Хангалаас	Хангалаас
Хангалаас	Юмер	Юмер	Юмер	Юмер	Базовское	Базовское	Базовское
Хданное	Хданное	Хданное	Хданное	Хданное	Хангалаас	Хангалаас	Хангалаас
Базовское	Базовское	Базовское	Базовское	Базовское	Базовское	Базовское	Базовское

Примечание. Ряды: I - минералогический (по Г.Н.Гаминику), II - по ЕГИ квадра, III - по СКС квадра, IV - по сумме гидрологических примесей (данные по Талалаху отсутствуют), У - свободный по сумме признаков квадра (II + III + IV).

Эргеляхское месторождение. В его пределах, по данным Г.Н.Гамянина, устанавливаются элементы определенной горизонтальной минеральной зональности (рис.39 а), отчасти подтвержденной кварциметрической съемкой, проведенной О.А.Суставовым (1978). Изучение свойств кварца-I позволило дополнить картину, полученную О.А.Суставовым. По данным анализа термolumинесценции и измерения параметров элементарной ячейки, выявлены две субпараллельные зоны позднего кварца-III, отчетливо выделился золотоносный кварц-I. По характерным двухпиковым кривым ЕТЛ установлена тенденция уменьшения интенсивности ЕТЛ и значений калинитрового отношения с северо-запада на юго-восток (рис.39,б), в принципе, совпадающая с увеличением в этом направлении доли поздних золото-висмутовых ассоциаций минералов. Горизонтальная зональность в изменении термolumинесцентных свойств кварца отчетливо проявилась на месторождении Аулочан, расположенном на северо-западном фланге Альча-Тарынской зоны и представленном минерализованными зонами дробления с оперяющими кварцевыми жилами. В пределах месторождения на минерализацию, относящуюся к сульфоантимонитовому типу золото-кварцевой формации, накладывается интенсивное антимонитовое оруденение. На рис.40 показано изменение интенсивности ЕТЛ кварца-I. Как видно, отмечающаяся зональность является отражением интенсивности наложенного сурьминного оруднения. В то же время золоторудный кварц обладает интенсивной ЕТЛ и выделяется на фоне безрудного кварца.

7.3. Типоморфные свойства кварца как поисковые критерии золотой минерализации

Выявленные особенности рудного кварца-I, позволяют использовать их при среднемасштабных поисках месторождений золото-кварцевой формации. Прежде всего во время таких работ важно отличать рудный кварц от безрудного. Сравнение состава и свойств рудного кварца-I с кварцем распространенных "метаморфогенных" кварцевых жил без признаков оруднения показало (см.табл.Б) существование заметных отличий между ними. Кроме того, безрудный кварц характеризуется практически полным отсутствием естественной термolumинесценции, в то время как для кварца-I она весьма типична (см.рис.34). Малое количество определений не позволяет говорить об увереных различиях структурных характеристик, тем не менее очевидно, что безрудный жильный кварц обладает наименьшими объемами элементарной ячейки и повышенной,

XX	1
++	2
Х	3
Bi,W	4

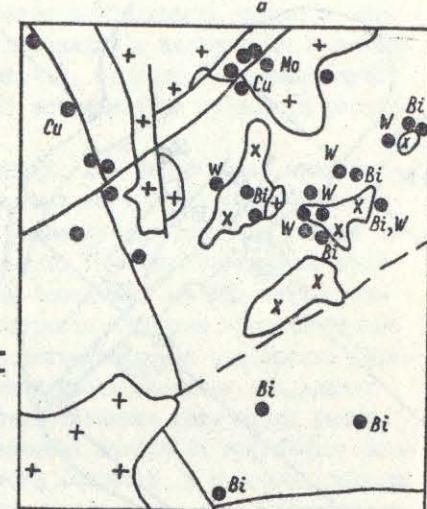
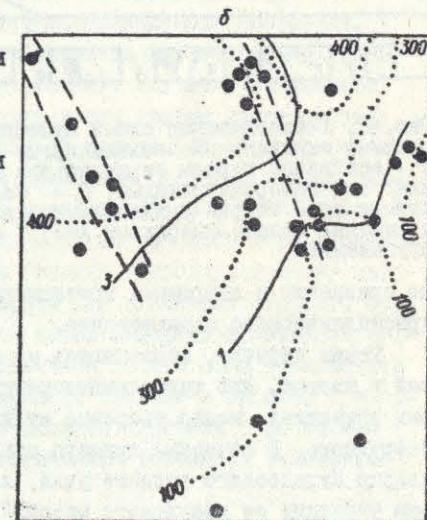


Рис.39. Горизонтальная зональность Эргеляхского месторождения: а - минеральная зональность: I - гранодиориты, 2 - граниты, 3 - разломы и точки отбора проб, 4 - минеральные ассоциации жил (Cu - золото-серебро-полиметаллическая, W - вольфрамит-сульфоарсенидная, Mo - молибденитовая, Bi - золото-висмут-теллуридная); б - зональность состава и свойств кварца: I - изолинии интенсивности высокотемпературного пика ЕТЛ, 2 - изолинии калинитрового отношения, 3 - зоны позднего кварца-III, выделенные по отличиям в объеме элементарной ячейки и высоким концентрациям лития, 4 - точки отбора проб



300°	1
/	2
Х	3
—	4

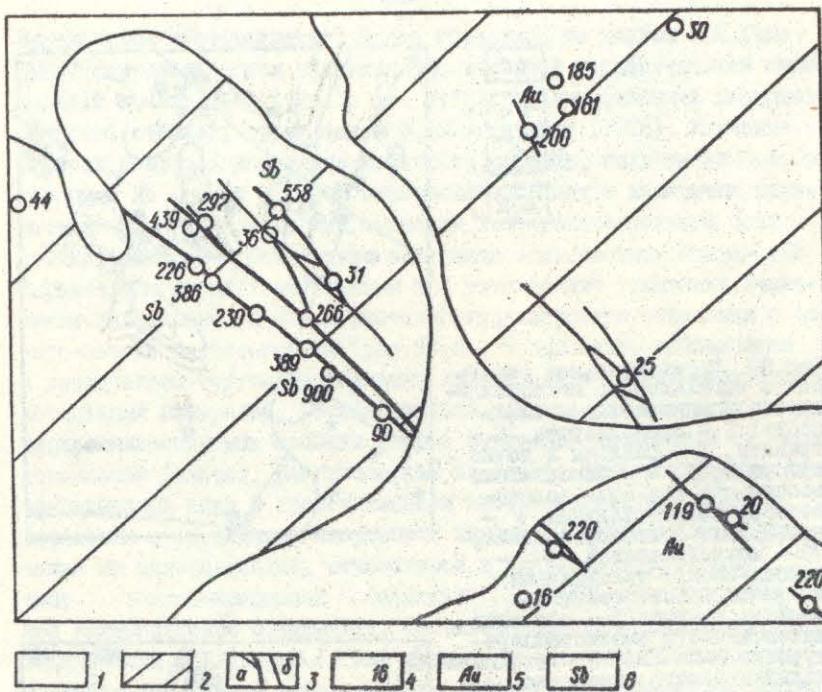


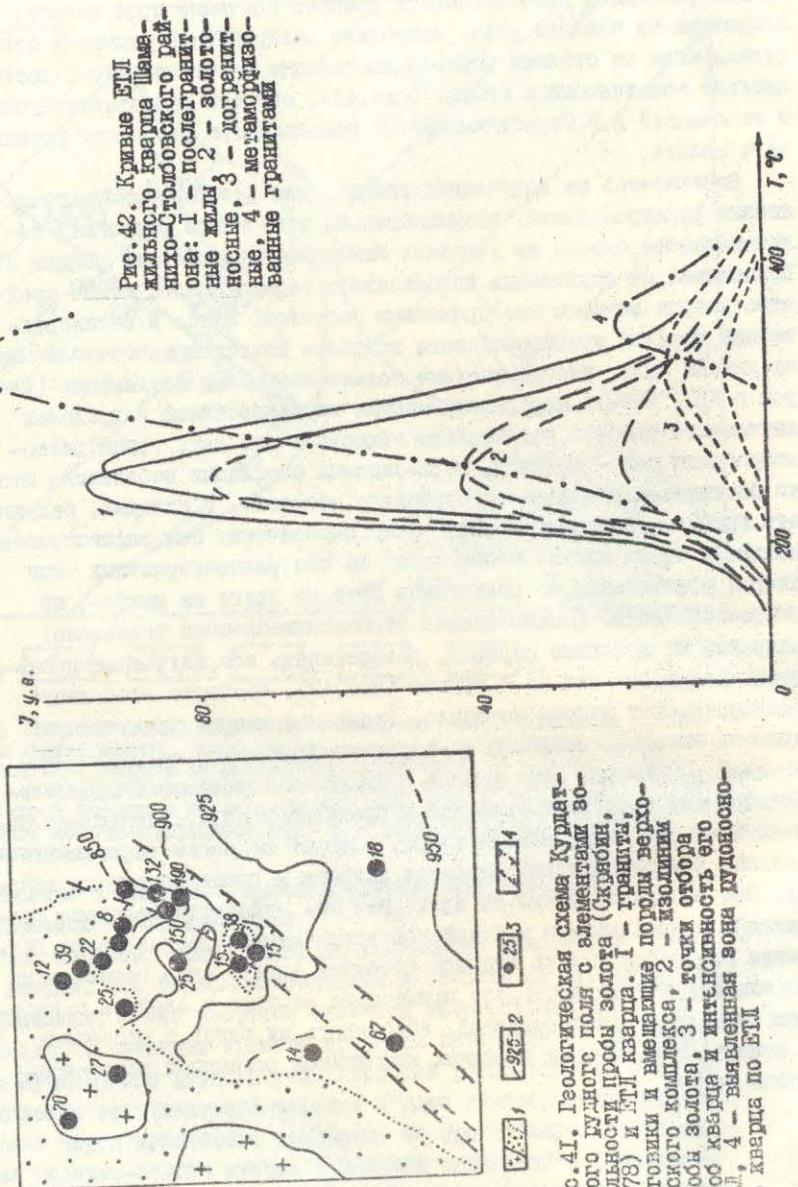
Рис.40. Геологическая схема Аулочанского месторождения с элементами минеральной зональности: 1 - аллювиальные отложения; 2 - осадочные породы верхоянского комплекса; 3 - зоны дробления: а - минерализованные, б - без рудной нагрузки; 4 - точки отбора проб кварца и интенсивность его ЕГЛ; 5 - участки распространения золото-кварцевых жил; 6 - зоны с золото-сурымным оруднением

по сравнению с кварцем-I арсенопиритовых месторождений, степень кристаллического совершенства.

Таким образом, основываясь на количестве рудогенных примесей в кварце, его термолюминесценции и отчасти на его структурных признаках, можно уверенно отличать золоторудный кварц от безрудного. В качестве примера приведем материалы по изучению кварца Курдатского рудного узла, который расположен на некотором удалении от гранитного массива в поле слабоороговиковых осадочных пород триасового возраста. Он представляет собой серию жил молочно-белого кварца с золотым оруднением (месторождение Курдат) полиметаллического типа, которые являются источ-

никами россыпной золотоносности района. Изучение проб кварца, собранных на площади узла, позволило разбраковать рудные и безрудные жилья по степени термолюминесценции и выделить зону потенциально золотоносного кварца (рис.41), отчасти сопоставляющуюся с отмеченной А.И. Скрибним (1978) зональностью пробности россыпного золота.

Основываясь на полученных данных, для разбраковки многочисленных рудопроявлений, предполагаемых источниками россыпной золотоносности одного из участков Шаманько-Столбовского района на Приколымье, мы попытались использовать термолюминесцентные свойства кварца вместе с его примесным составом. Здесь в метаморфических породах протерозойского возраста известны многочисленные кварцевые жилья, иногда несущие золото-кварцевое оруднение (Флеров и др., 1970). Минералогическими исследованиями в пределах изученного участка установлено существование двух групп разновозрастных жилья - древних, пересекаемых апофизами небольшого штока биотитовых гранитов мезозойского возраста, и молодых, секущих эти граниты. Непосредственный факт пересечения был зафиксирован только в одном месте, в остальном же оба разновозрастных типа кварца практически не отличались друг от друга ни макро-, ни микроскопически. Использование термолюминесценции позволило, опираясь на референтные образцы, разбраковать все изученные проявления кварцевых жилья на 4 группы (рис.42). Изучение эталонного рудопроявления золота показало, что в его кварце присутствует примесь висмута, свинца и он обладает повышенной термолюминесценцией. Сравнение этих данных с примесным составом кварца многочисленных жилья, расположенных в пределах участка, позволило выделить из них золотоносный кварц, который по своим термолюминесцентным характеристикам оказался близким к послегранитному кварцу. Это послужило одним из критериев для отнесения золотого оруднения к проявлениям мезозойской эпохи минералообразования. Изучение кварцевой гальки отвалов россыпей золота дало возможность установить идентичность его примесного состава и свойств с кварцем известных рудопроявлений, обосновать их связь с россыпями и отнести к категории коренных источников россыпной золотоносности района.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплекс исследований кварца золоторудных месторождений показал, что только совокупность методов может использоваться для выяснения как условий его образования (распределение цепочек и алманина, радиотермолюминесценция, параметры элементарной ячейки и степень кристаллического совершенства, газо-жидкие включения и диэлектрическая проницаемость), так и поисково-оценочных критериев золотого оруденения (естественная термолюминесценция, диэлектрические свойства, степень совершенства кристаллического строения, распределение рудогенных примесей).

Детальное изучение кварца золоторудных месторождений привело к выделению на некоторых из них двух генетически различных типов кварца: рудного (кварц-I и кварц-II) и позднего (кварц-III). Их сравнение позволяет выделить следующие типоморфные особенности: генетические (характеризующие условия формирования кварца) и поисково-оценочные (отражающие его специфику как главного минерала золоторудных месторождений разных формаций).

И. К генетическим признакам рудного кварца - I относятся:

массивная текстура агрегатов с изометрично-зернистым строением, незакономерным расположением заноршей, реликтами метакомпактного строения;

существование двух комплексов минералов сопутствующих рудному кварцу: а) "сокварцевый", представленный ранними минералами (ширит, арсенопирит, шеелит, полевые шпаты, турмалин, хлорит и пр.), имеющий черты преимущественно до- и сокристаллизации; б) послекварцевый, объединяющий поздние минералы (галенит, сфalerит, сульфантимониты и сульфотеллуриды, карбонаты, самородные висмут и золото и пр.), отлагавшиеся явно после кристаллизации кварца-I;

наличие в кварце-I "подвешенных" обломков чужеродных пород, признаки деформации ранних и поздних минералов (надломанные и разорванные иглы турмалина, сульфосолей в некатализированном кварце), указывающие на высокую вязкость среды кристаллизации;

проявление щелочных центров окраски типа Al-Na и Al-Li после облучения кварца рентгеновскими и гамма-лучами наряду с изменением характера радиотермолюминесценции и распределения щелочных металлов;

присутствие значительного количества алюминия, неструктурная форма нахождения которого обусловлена невысокими и стабильными параметрами элементарной ячейки (независимо от содержания алюминия в кварце);

низкая степень совершенства кристаллического строения кварца, не соответствующая среднеглубинным условиям формирования жил;

двушиковый характер естественной термолюминесценции с пиками при 240°C и 330°C и отсутствие закономерного изменения ЕТЛ по разрезу жил;

наличие двух разнотемпературных ($T_1=280-420^{\circ}\text{C}$ и $T_2=200-310^{\circ}\text{C}$) групп газово-жидких включений с давлением в $40-170 \text{ МПа}$,

Отмеченные выше особенности морфологии агрегатов, свойств и состава кварца-I, характера газово-жидких включений в нем позволяют сделать вывод о формировании его из одной порции высококонцентрированных по кремнезему растворов, в среднеглубинном интервале в условиях повышенных давлений и щелочности, вероятнее всего по механизму расслоения полимерных растворов на две фазы с последующим их взаимодействием между собой и с окружающей средой.

2. К практическим важным поисково-оценочным признакам рудного кварца-I относится:

повышенные (в 3-30 раз) концентрации рудогенных примесей свинца, мышьяка, сурьмы, серебра, вольфрама и отчасти висмута;

интенсивная двухшиковая ЕТЛ с разным соотношением пиков;

параметры элементарной ячейки, близкие к стандартному горному хрусталю;

изменчивость физических свойств кварца с глубиной, отражающая скрытую зональность оруденения.

Жильный кварц близповерхностных золото-серебряных месторождений обладает аномально высокими параметрами элементарной ячейки ($a_0=0,49140-0,49180 \text{ нм}$; $C_0=0,54045-0,54090 \text{ нм}$, $v=0,113010-0,113320 \text{ нм}^3$), а также содержаниями лития (более 100 г/т) и алюминия (0,1-2%), отражающими малоглубинные условия формирования кварца. Для него типична однопиковая ($T=250-290^{\circ}\text{C}$) интенсивная ЕТЛ (реже два пика в этой же области температур), и несовершенство кристаллического строения.

По типоморфным признакам поздний кварц-III золоторудных жил

ряда месторождений аналогичен кварцу близповерхностных месторождений. Это, а также явно более позднее его секущее положение по отношению к золотому оруденению позволяет считать его продуктом регионально проявленного молодого (вероятно, кислого верхнего мела) близповерхностного этапа гидротермальной деятельности.

Таким образом, несмотря на кажущуюся однотипность кварца разных жил, он несет в себе важную генетическую и практическую информацию и заслуживает большего внимания при проведении минералогических работ. Простота и экспрессность большинства применяемых для его изучения методов свидетельствуют о целесообразности широкого использования типоморфных особенностей кварца в работе производственных организаций.

Л и т е р а т у р а

Амузинский В.А. Малосульфидная золото-кварцевая формация Верхоянского мегантиклиниория // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975. С.121-153.

Андреев Б.С., Махоркина Т.И., Портнягин С.И., Токова Е.Э. О термальном метаморфизме золоторудных месторождений Северо-Востока СССР// Геология и полезные ископаемые Северо-Востока Азии. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С.164-174.

Ануфриев В.Н., Ступаков Г.П., Москалук А.А. К характеристике кварца Кочкарского золоторудного месторождения// Изв. АН СССР. Сер. геол. 1973. № 3. С.68-81.

Альонов В.С: Некоторые закономерности размещения хрусталеносных поясов и жильных полей в северной части Верхоянской хрусталеносной провинции// Учен. зап. НИИГА. Регион. геол. 1965. Вып.8. С.58-82.

Бабкин П.В., Воеводин В.Н., Гарань В.И. и др. Вольфрамоносный рудный узел в Верхнем Приколымье// Закономерности формирования эндогенной минерализации Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С.112-119.

Балицкий В.С., Самойлович М.И., Новожилов А.И. и др. О влиянии температурных условий образования кварца на содержание структурной примеси алюминия// Минер. сб. Львов. ун-та. 1966. № 20. Вып.3. С.430-439.

Балицкий В.С., Лысаков В.С., Серебряников А.И. О влиянии физико-химических условий синтеза на термолюминесценцию кристаллов кварца// Геохим. 1971. № 9. С.1144-1149.

Балицкий Б.С. Экспериментальное изучение процессов хрустально-образования. М.: Недра, 1978. 144 с.

Барсанов Г.П. О структуре кварца и рудном составе золотоносных жил Миасского района на Южном Урале// Изв. АН СССР. Сер. геол. 1945. № 2. С. 74-80.

Бархударян Н.В., Гребенчиков А.М. Применение методов ИКС к изучению кварцев золоторудных месторождений// Тр. ЦНИГРИ. 1974. Вып. II. С. 75-84.

Бархударян Н.Б., Болотова Н.Я., Андреева М.Г. и др. О воде и углекислоте в кварце (по данным ИК-спектроскопии)// Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования: Тез. докл. Новосибирск, Т.2. С.10-11.

Баханова Е.В., Карнаухов Б.Н., Нарсеев В.А. и др. Некоторые особенности кварца жильных золоторудных месторождений Казахстана// Материалы по минералогии Казахстана. Алма-Ата: Каз.ИМС, 1974. С.174-186.

Баханова Е.В. Особенности кварцев золоторудных месторождений Казахстана различной глубинности// Минералогия и генетические особенности месторождений Казахстана. Алма-Ата: Каз.ИМС, 1975. С.169-175.

Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Половников В.Л. Магматические и рудные формации хребта Улахан-Тас (Северо-Восточная Якутия). Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. 199 с.

Бенник А.Т. Редкие щелочи в жилах кварц-(золото)-серебряной формации Средней Азии// Геология, условия формирования и поисковые признаки месторождений рудных полезных ископаемых Тянь-Шаня. Ташкент, 1986. С.86-88.

Билибин Ю.А. Некоторые наблюдения в одной брекчевидной кварцевой жиле// Зап. ВМО. 1945. Вып. 3. Ч. 74. С.226.

Болотова Н.Я., Манучарян Б.О. Температура выделения золота из золото-кварцевой малосульфидной формации Яно-Кольского пояса// У Всесоюз.совещ. по термобарогеохимии: Тез.докл. Уфа, 1976. С.21.

Болотова Н.Я., Филиппов В.П. Особенности термoluminesценции жильного кварца проявленияй золото-кварцевой малосульфидной формации как критерий связи с ними россыпей// Колыма. 1981. № 2. С.36-39.

Буканов В.В., Горбатов Г.А., Ошкова Г.Е. О причинах вариаций диэлектрической проницаемости кварца// Очерки общей и региональной минералогии. Сыктывкар, 1971. С.41-46.

Булатова Л.Ш. Опыт использования термoluminesцентных свойств кварца при сравнительном изучении минеральных ассоциаций// Геология, минералогия и технология обогащения руд. Ташкент: САИПГИМС, 1975. С.57-63.

Буряк В.А. Результаты сопоставления эволюции валового химического состава кварцево-жильных минеральных ассоциаций и газово-жидких включений кварца этих ассоциаций (на примере золотоносных жил малосульфидной формации)// Докл. АН СССР. 1979. Т.248, № 2. С.436-439.

Бутузов В.П., Брятов Л.В. Исследование фазовых равновесий части системы $H_2O - SiO_2 - Na_2CO_3$ при высоких температурах и давлениях// Кристаллография. 1957. Т.2, № 5. С.670-675.

Бушников И.Н., Максенков В.Г. Исследование термoluminesценции кварца из кварцевых жил и гранитоидов Верхотурско-Верх-Исетского мегантиклиниория // Тр. Горно-геол. ин-та. Свердловск, 1970. Т.86. С.7-9.

Вальд А.К. Два типа золотого оруденения одного из районов Кузнецкого Алатау. Томск: ТПИ, 1987. 57 с. Деп. ВИЭМС 05.II.87 № 490Мг-87.

Василькова Н.Н., Соломкина С.Г. Типоморфные особенности флюорита и кварца. М.: Недра, 1965. 134 с.

Вертушков Г.Н. Параметры элементарной ячейки жильного кварца с Южного и Среднего Урала// Минералы месторождений полезных ископаемых Урала. Свердловск, 1968. С.58-63.

Вертушков Г.Н., Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А. и др. Жильный кварц восточного склона Урала. Свердловск: СТИ, 1969. Ч.1. 100 с.; 1970. Ч.2. 103 с.; 1970. Ч.3. 108 с.

Воронин Ю.П. Структура, морфология и минералогия Задержинского золоторудного месторождения// Геология и полезные ископаемые Якутии. Якутск, 1970. С.109-112.

Воронцов В.В., Гончаров В.И., Альшевский А.В. Физико-химические условия формирования интрузивных и гидротермальных образований в золоторудных узлах складчатых зон Северо-Востока СССР (по данным термобарогеохимических исследований)// Магматические формации Северо-Востока СССР. Магадан, 1985. С.143-170.

Воскресенский С.С., Колесова Г.Н., Наумов В.Б. Термобарические особенности формирования жильного кварца бассейна верхнего течения р. Колымы и денудационный срез// Изв. ВУЗов. Геол. и развед. 1972. № 10. С.42-48.

Гавриков С.И., Данилорский Е.П. Эбир-Ханинский интрузив и особенности связанного с ним оруденения// Геология рудн. месторождений. 1961. № 4. С.71-78.

Гамянин Г.Н. Типы золотого оруденения в Верхне-Интигирском районе и их связи// Геол. и геофиз. 1966. № 12. С.45-55.

Гамянин Г.Н. Минеральные типы золоторудных месторождений// Строение земной коры Якутии и закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Наука, 1969. С.264-274.

Гамянин Г.Н. О прерывистости процесса минералообразования в месторождениях золото-кварцевой формации// Рудообразование и его связь с магматизмом. М.: Наука, 1972. С.203-215.

Гамянин Г.Н. Типы золоторудных месторождений Восточной Якутии// Вопросы рудоносности Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1974. С.5-35.

Гамянин Г.Н. Характер взаимоотношения минеральных ассоциаций как критерий полиформационных месторождений// Минералы, горные породы и месторождения полезных ископаемых в геологической истории. Л.: Наука, 1982. С.32-34.

Гамянин Г.Н. Тектоно-магматические предпосылки золотого оруденения Восточной Якутии// Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Сибири: Тез.докл. Томск, 1983. С.152-153.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Зональность изменения типоморфных свойств минералов одного из золоторудных месторождений Восточной Якутии// Типоморфные особенности рудных минералов эндогенных образований Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983. С.6-19.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Иданов Ю.Я. и др. Значение изучения типоморфизма минералов при регионально-минералогических исследованиях (на примере золоторудных месторождений Северо-Востока СССР)// Минерал.сб. Львов.ун-та. 1983. Вып.37/2. С.17-25.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Горячева Е.М. и др. Самородные металлы, металлоиды и их соединения в золоторудных гидротермальных образованиях Восточной Якутии как отражение специфики условия их формирования// Самородные металлы в постмагматических образованиях: Тез.докл. Якутск, 1985. Ч.П. С. 3-7.

Гамянин Г.Н., Сычичев М.К., Горячев Н.А., Белозерцева Н.В. Полиформационное золоторудное месторождение// Геология рудн.месторождений. 1985. № 5. С.86-89.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Близповерхностное оруденение Восточной Якутии// Тихоокеан.геол. 1988. № 2. С.82-89.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Золоторудно-магматические системы на Северо-Востоке СССР// Рудно-магматические системы Востока СССР. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1991. С.37-48.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Алшатов В.А. и др. Басугунинский рудно-магматический узел// Рудно-магматические системы Востока СССР. Якутск, 1991. С.81-94.

Ганеев И.Г. К вопросу о механизме миграции кремнезема в гидротермальных растворах// Докл.АН СССР. 1974. Т.214, № 5. С.1175-1178.

Гельман М.Л. Роль метаморфизма в золотом оруденении Северо-Востока СССР// Там же. 1976. Т.230, № 6. С.1406-1409.

Гениш Г. Выращивание кристаллов в гелях. М.: Мир, 1973. №2.

Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. Минералогические исследования в практике геолого-разведочных работ. М.: Недра, 1981. 238 с.

Голованов И.М., Цой А.В., Рахунбеков А.Т. Кварц Алмалыкских медно-порфировых месторождений// Зап.Узб.МО. 1974. Вып.24. С.70-76.

Гончаров В.И., Найдородин В.И., Сафонов Д.Н. и др. Физико-химические условия формирования золоторудного месторождения// Термобарогеохимия и рудогенез: Тез.докл. Владивосток, 1978. С.179.

Горбатов Г.А., Доломанова Е.А. Влияние генезиса кварца на величину диэлектрической проницаемости// Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ АН СССР за 1971 г. М., 1972.

Горячев Н.А., Новоселов Ю.М. Генетические особенности кварца золоторудных проявлений Восточной Якутии// Проблемы генетической информации в минералогии. Сыктывкар, 1980. С.55-56.

Горячев Н.А. Практическое значение генетических особенностей кварца золоторудных месторождений Восточной Якутии// Типоморфизм минералов и его прикладное значение. Чита, 1983. С.95-98.

Горячев Н.А., Падрина Л.П., Сабардахова Э.Е. Щелочи и алюминий в кварце как индикаторы условий его образования// Силикаты магматических и постмагматических образований Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983. С.88-93.

Горячев Н.А. Типы кварцево-рудных жил и соотношение их с

мезозойским магматизмом (Верхояно-Колымская складчатая область) // Региональная геология и полезные ископаемые Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. С. II-22.

Гринберг Г.А., Бахарев А.Г., Гамянина Г.Н. и др. Гранитоиды Ижного Верхоянья. М.: Наука, 1970. 216 с.

Гринберг Г.А., Недосекин Ю.Д., Соловьев В.И. Магматические формации // Мезозойская тектоника и магматизм Восточной Азии. М.: Наука, 1983. С. 23-37.

Гришин В.М., Зломанова З.Г. О роли полимеризации кремнекислоты в гидротермальных растворах при образовании морфологических разновидностей жильного кварца // Вопр. геологии месторождений золота. Томск, 1970. С. 183-189.

Гришин В.М., Зломанова З.Г. Морфологические разновидности кварца золоторудных месторождений Северного Казахстана // Минералогия и геохимия Центрального Казахстана и Алтая. Алма-Ата, 1971. С. 63-72.

Гришин В.М., Изюмский С.Н., Гапулов Т.Г. О термолюминесценции кварца золоторудных месторождений Северного Казахстана // Зап. ВМО. 1971. Вып. 2. Ч. 100. С. 153-162.

Доломанова Е.А., Бершов Л.В., Гасован М.С. Изоморфные элементы-примеси в жильном кварце оловорудных месторождений Забайкалья и их генетическое значение // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1972. № 6. С. 65-74.

Доломанова Е.А., Горбатов Г.А., Пилоян Г.О. и др. Температура инверсии, диалектическая проницаемость и другие свойства кварца разного генезиса // Новые данные о минералах. М.: Наука, 1981. Вып. 29. С. 44-53.

Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Минералы кремнезема. М.: Мир, 1966. 430 с.

Емелин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якшин В.И. Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск: Кн.изд-во, 1988. 272 с.

Ермаков Н.П. Гранитные пегматиты, силикситы и кварцолиты Казахстана // Минералогия и генезис пегматитов. Докл. сов. геологов. 21 МГК. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 62-79.

Ермаков Н.П. Геохимические системы включения в минералах. М.: Недра, 1972. 375 с.

Ермаков Н.П., Наумов В.Б., Актаров Д.Н. Флюидные включения в минералах и их роль в изучении гидротермального рудообразования // 27 МГК. Минералогия. М.: Наука, 1984. Т. 10. С. 85-93.

Загрузина И.А. Геохронология мезозойских гранитоидов Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1977. 280 с.

Зайцев А.И. Термолюминесценция горных пород и минералов Восточной Якутии и ее применение для решения геологических вопросов: Автореф... дис. к.г.-м.н. Томск, 1974. 14 с.

Захарченко А.И. О переходах гранитных расплавов во флюиды, о их характере и металлоносности (по включениям в минералах) // Геохимия, минералогия, петрология. 25 МГК. М.: Наука, 1976. С. 261-274.

Злобин В.А., Пономарчук В.А. Геохимическая типизация золотоносных кварцев по данным многокомплексного инструментального гейтронно-активационного анализа // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249, № 3. С. 703-706.

Иванкин П.Ф., Рабинович К.Р., Акчурина В.Н. Морфогенез кварцевой жилы // Геология и полезные ископаемые Забайкалья. Чита, 1967. С. 22-24.

Иванкин П.Ф., Рабинович К.Р., Акчурина В.Н. О механизмах миелообразования на кварцево-золоторудных месторождениях // Изв. ТИИ. Томск, 1970. Т. 239. С. 140-145.

Иванюк Б.О. О составе рудообразующих растворов, сформировавших месторождения золото-кварцевой формации Аян-Юряхского антиклинария // Колыма. 1982. № 3. С. 34-37.

Ивансен Ю.П., Амузинский В.А., Невойса Г.Г. Строение, история развития магматизма и металлогенеза северной части Верхоянской складчатой зоны. Новосибирск: Наука, 1975. 322 с.

Игумнов А.Н. О первичной структуре жильного кварца // Докл. АН СССР. 1951. Т. 79, № 3. С. 509-511.

Игумнов А.Н. Роль коллоидов в образовании кварцевых жил // Тр. ИГиГ УФ АН СССР. 1970. Вып. 86. С. 68-72.

Изюк Э.Н., Русс В.В., Кунаев И.В., Наговская Г.И. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, ихрудоносность и происхождение. М.: Наука, 1967. 384 с.

Индолов Л.Н. Магматизм и связь с ним оруденения в северной части Ижно-Верхоянского синклиниория // Геология оловорудных и полиметаллических месторождений Якутии. М.: Наука, 1965. С. 5-65.

Индолов Л.Н. Дайки рудных районов Восточной Якутии. М.: Наука, 1979. 195 с.

Индолов Л.Н., Щанов Ю.Я., Супладов В.М. Сурьминое оруденение Верхояно-Колымской провинции. Новосибирск: Наука, 1980. 232 с.

Использование термoluminesцентного метода при прогнозной оценке эндогенного оруденения (методические рекомендации). Новосибирск: СНИИТИМС, 1976. 74 с.

Кадик А.А., Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И. Вода в магматических расплавах. М.: Наука, 1971. 267 с.

Кадик А.А. Режим летучих компонентов ($H_2O + CO_2$) при подъеме продуктов частичного плавления коры и мантии к поверхности Земли// Геохимия, минералогия. 26 МГК. М.: Наука, 1980. С.70-77.

Каменцев И.Е. О влиянии температуры кристаллизации кварца на вхождение структурной примеси алюминия// Минер. сб. Львов. ун-та. 1967. Вып.4. № 21. С.396-399.

Картенко Н.Ф., Сидоренко Г.А., Дубакина И.А. и др. О влиянии условий образования и примесей на параметры элементарной ячейки природного кварца// Рентгенография минерального сырья. М.: Недра, 1971. № 8. С.8-41.

Комаров О.П., Дикк Е.В., Каджи В.Е. и др. Фазовые превращения кремнезема в гидротермальных условиях// Синтез монохристиллического минерального сырья. М.: Недра, 1982. С.3-5.

Комов И.Л., Николенко В.Л., Никитин А.В. Термoluminesценция природных кристаллов кварца// Изв.АН СССР. Сер.геол. 1971. С.88-93.

Конеев Р.И., Троненок Н.В. Структурный типоморфизм кварца некоторых золоторудных месторождений Чаткало-Кураминских гор// Зап.Узб.отд.БМО. 1981. Вып.34. Ташкент. С.23-28.

Коновалов И.В. Условия образования золоторудной метаморфо-гидротермальной минерализации. Восточная Сибирь. Новосибирск: Наука, 1985. 97 с.

Константинов Р.М. Математические методы при исследовании типоморфизма минералов// Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов (Материалы XI съезда ММА, 1978 г.). М.: Наука, 1980. С.17-29.

Константинов Р.М. Математические методы при изучении типоморфных особенностей минералов// Новые данные о типоморфизме минералов. М.: Наука, 1980. С.10-24.

Кораго А.А., Козлов А.В. Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. Л.: Недра, 1988. 159 с.

Корсаков В.С. Рудные формации и процессы рудообразования. Л.: Недра, 1973. 327 с.

Корсаков В.С. Природные рудообразующие гидротермальные системы с позиций теории полиметров// Генезис рудных месторождений. Тез.докл. Тбилиси, 1982. С.9-10.

Костылева Е.Б. Некоторые методы изучения рудоносного кварца и опыт их применения. М.: Наука, 1964. 100 с.

Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. Новосибирск: Наука, 1985. 176 с.

Кудайбергенова Н.К., Изюмский С.И. Использование термoluminesценции при изучении кварцев золоторудных месторождений Джунгаро-Балхашской складчатой системы// Изв.Каз.ССР. Сер.геол. 1985. № 3. С.84-94.

Кузнецов С.К., Буканов В.В., Кхтанов П.П. Топоминералогические закономерности хрусталеобразования. Л.: Наука, 1988. 144 с.

Кузьмин А.М. Отношение золота к вмещающему его жильному кварцу// Геология и металлогенез Дарасунского рудного поля. Зап. Забайкал.геогр.о-ва СССР. 1971. Вып.52. С.79-91.

Лаверов Н.Н., Таращан А.Н., Власов В.П. и др. О применении термoluminesцентного метода для определения относительного возраста гранитоидов// Геология рудн.месторождений. 1961. № 6. С.91-101.

Лазаренко Е.А., Павлишин В.И. Типоморфные особенности кварца// Типоморфизм кварца Украины. Киев: Наук.думка, 1974. С.3-II.

Левицкий О.Д. Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья// Месторождения редких и малых металлов СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. Т.2. 271 с.

Летников Ф.А., Вилор Н.В. Золото в гидротермальном процессе. М.: Недра, 1981. 324 с.

Лущин Ч.Б. Исследование центров заквата в щелочно-галоидных кристаллофосфорах. Тарту, 1955.

Лысаков В.С., Серебряников А.И., Шарапов В.Н. Применение термoluminesцентного метода для изучения жил выполнения// Физическое и физико-химическое развитие магматогенных и рудных систем. Новосибирск: Наука, 1972. С.308-317.

Магматизм Северо-Востока Азии. Магадан. 1974. Ч.1. 102 с., 1975. Ч.2. 303 с.

Малышев А.Г., Миленов А.И., Новожилов А.И. Содержание структурной примеси алюминия в различных генетических типах кварца Забайкалья// Геология рудн.месторождений. 1979. № 2. С.75-77.

Манучарянц Б.О., Маркова Э.А. Генетические особенности золото-сурымянного оруденения Якутии// Сов.геол. 1977. № 1. С.127-133.

Манучарянц Б.О., Прушинская Э.А., Владимиров В.Г. Некоторые данные о характере гидротермальных растворов, формирующих золотое и золото-сульфидное оруденение Якутии// Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Новосибирск: Наука, 1979. Т.2. С.210-220.

Маргунин А.С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М.: Недра, 1975. 328 с.

Мельников В.Д. Место хрусталеносной минерализации Верхояно-Колымской складчатой системы в мезозойском тектономагматическом цикле// Рудообразование и его связь с магматизмом: Тез.докл. Якутск, 1969. С.102-103.

Мельцер М.Л. Связь пробности золота с составом гидротермальных растворов (на примере месторождений Восточной Якутии)// Геология и тектоника рудоносных регионов Якутии. Якутск: Изд-во Якут.ун-та, 1979. С.48-53.

Методы минералогических исследований. М.: Недра, 1985. 480 с.
Минералы (справочник). М.: Наука, 1965. Т.2. Кн.2. 349 с.

Минцер Э.Ф. О полимеризационной природе механизма рудообразования// Изв.АН СССР. Сер.геол. 1967. № 5. С.40-47.

Мицюк Б.М. Взаимодействие кремнезема с водой в гидротермальных условиях. Киев: Наук.думка, 1974. 85 с.

Могаровский В.В., Гостюхина Э.З. Лилей в кварце золото-серебряного оруденения южного Тянь-Шаня и Памира// Докл.АН Тадж. ССР. 1989. Т.32, № 1. С.51-54.

Молчанов В.П., Малахов А.А. Геохимические особенности однотипного из золоторудных месторождений Восточной Якутии// Геология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С.254-260.

Нарсеев В.А. Роль полимеризации в формировании расплавов и гидротермальном переносе вещества// Вестн.АН Каз.ССР. 1964. № 8.

Нарсеев В.А. Эндогенная зональность золоторудных месторождений Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1973. 230 с.

Нарсеев В.А. Эволюционная модель рудообразующей гидротермальной системы (РГС)// УГ симпозиум МАГРИ. Тез.докл. Тбилиси, 1982. С.269-270.

Наумов В.Б., Малинин С.Д. Новый метод определения давления по газово-жидким включениям// Геохим. 1968. № 4. С.432-441.

Наумов Г.Б., Наумов В.Б. Влияние температуры и давления на кислотность и стадийность рудообразования// Геология рудн.месторождений. 1977. № 1. С.13-23.

Некрасов И.Я. Магматизм и рудоносность северо-западной части Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 334 с.

Некрасов И.Я. Геохимия олова и редких элементов Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1966. 379 с.

Новгородова М.И., Власова Е.В. Вода и углекислота в кварце золоторудных месторождений (по данным ИК-спектроскопии)// Новые данные о минералах. М.: Наука, 1983. С.90-97. (Тр.минер.музея АН СССР).

Новгородова М.И., Веретеников В.М., Боярская Р.В., Диркин В.И. Геохимия элементов-примесей в кварце// Геохим. 1984. № 3. С.370-383.

Ольшевский В.М. Минеральные ассоциации золоторудных жил Мало-Ануйского района// Колыма. 1976. № 6. С.46-48.

Онтоев Д.О. Условия и главнейшие факторы возникновения зональности в гидротермальных месторождениях// Зональность гидротермальных рудных месторождений. М.: Наука, 1974. Т.2. С.123-161.

Остапенко Н.С., Беда В.Д. К вопросу о зональности минерализации на золоторудном месторождении малосульфидной формации (Приамурье)// Новые данные по геологии и рудоносности Монголо-Охотского пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С.40-51.

Павлишин В.И. Типоморфизм кварца, слюда и полевых шпатов в эндогенных образованиях. Киев: Наук.думка, 1983. 232 с.

Перевертаев В.Д., Запков В.Т., Юргенсон Г.А. и др. Электрические свойства природных кварцев // Исследования в области физики твердого тела. Иркутск, 1974. Вып.2. С.109-112.

Перевертаев В.Д., Юргенсон Г.А., Запков В.Т. и др. Диэлектрические свойства кварца Балейского рудного поля (Забайкалье) // Там же. 1974. С.73-77.

Петровская Н.В. Некоторые особенности внутрирудного метаморфизма золото-кварцевых образований на примере месторождений Енисейского края// Тр.НИИГИЗолото. 1956. Вып.21. С.3-45.

Петровская Н.В., Чухров Ф.В. Проблема типоморфизма минералов// Проблемы петрологии, минералогии и рудогенеза. М.: Наука, 1983. С.141-147.

Петровская Н.В., Чухров Ф.В. Основные направления исследований типоморфизма минералов// Минералогия. 27 МГК. М.: Наука, 1984. Т.10. С.3-10.

Петровская Н.В., Новгородова М.И., Картикоев В.Д. и др. Примеси редких земель в кварце как индикаторы источника рудного вещества// Геология рудн.месторождений. 1985. № 3. С.66-74.

Пизнор А.В. Основы термобарогеохимии. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1973. 106 с.

Попов В.А. Кварц Березовского золоторудного месторождения на Урале// Минералогические исследования гидротермальных Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С.3-10.

Потапов А.А., Курмей А.Е., Денисенко Н.П., Михайлов Ю.Я. Минералого-геохимические различия рудного и безрудного кварца золоторудной прожилково-вкрашенной минерализации Восточного склона Кузнецкого Алатау// Критерии прогнозирования и оценки эндогенных месторождений Сибири. Новосибирск:СНИИГТУМС, 1985. С.64-71.

Приставко В.А., Сафонов Д.Н., Попова Л.А., Устюжин Н.П. Методика количественного спектрального анализа для геохимических поисков// Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Тез.докл. М., 1982. Ч.7. С.57-58.

Рабинович К.Р., Акчурика В.А. Отличительные особенности двух золоторудных полей в Кузнецком Алатау, связанных с разными магматическими комплексами// Минералогия, геохимия рудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. Вып.6. С.77-80.

Рожков И.С., Гринберг Г.А., Гамзин Г.Н. и др. Позднемезойский магматизм и золотое оруденение Верхне-Интигирского района. М.: Наука, 1971. 238 с.

Румянцев В.Н. Структурный алмазиний в кварце как индикатор физико-химических условий кристаллизации// Зап.ВМО. 1979. Вып.6. С.647-657.

Румянцев В.Н. Вопросы информативности термобарогеохимии и генезис кварцевых жил выполнения// Там же. 1981. Вып.3. С.257-265.

Румянцев В.Н. К теории кварцево-жильного минералообразования генетически связанного с гранитоидами// Минералогия рудных месторождений. М.: Наука, 1983. С.60-70.

Серебренников А.И. Экспериментальные исследования электронно-дырочных центров в кварце. Ч.1. Центры захвата// Минер.сб.Львов. ун-та. 1977. № 31/2. С.40-45.

Сидоров А.А. Вертикальная структурно-текстурная зональность золото-серебряных жил// Колыма. 1971. № 10. С.44-45.

Силичев М.К. Геологические особенности одного рудного поля// Новости геологии Якутии. Якутск, 1973. Вып.3. С.115-120.

Силичев М.К., Андриянов Н.Г. Структурно-геохимические принципы прогнозирования золоторудных месторождений Южно-Верхоянского синклиниория// Вопр.рудоносности Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1974. С.54-66.

Силичев М.К., Белозерцева Н.В. Температурные условия образования многостадийного золоторудного месторождения// Докл.АН СССР. 1980. Т.250, № 3. С.705-707.

Силичев М.К., Белозерцева Н.В. Зональность примесей в кварцах, арсенопиритах и галенитах золоторудного месторождения// Геоким. 1981. № 3. С.379-385.

Скорняков П.И. Систематика золоторудных месторождений Северо-Востока СССР// Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1949. Вып.4. С.52-63.

Скрабин А.И. Особенности горизонтальной зональности золоторудных узлов. Якутск: Кн.изд-во, 1978. 88 с.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. 688 с.

Соболев А.П., Колесниченко П.П. Мезозойские гранитоидные комплексы из Яко-Колымской складчатой системы. М.: Наука, 1979. 180 с.

Соболев А.П. Мезозойские гранитоиды Северо-Востока СССР и проблемы их рудоносности. М.: Наука, 1989. 249 с.

Сугставов О.А. Жильный кварц Сарылахского золото-сурымового месторождения в Восточной Якутии// Минералогия и петрография. 1973. Вып.95. С.23-38.

Сугставов О.А. Типы жильного кварца в районе Беккемского гранитоидного массива// Там же. 1976. Вып.124. С.22-26.

Сугставов О.А. Типы жильного кварца Оргеякского золото-редкометального месторождения в Восточной Якутии// Там же. 1978. Вып.1. С.17-21.

Сугставов О.А. Формации жильного кварца при прогнозировании золотого оруденения// Геология, поиски и разведка месторождений Урала. Свердловск, 1987. Вып.7. С.60-66.

Сугставов О.А. Диагностика, условия образования и поисковое значение субмикроскопических флюидальных включений// Минералообразующие флюиды и рудогенез. Киев: Наук.думка, 1988. С.156-162.

- Суставов О.А. Метаморфогенные кварцевые прожилки в верхнетриасовых песчаных породах Верхояно-Колымской складчатой области// Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 3. С. 86-88.
- Суставов О.А. Расщепленный кварц из месторождения Эргелих (Восточная Якутия)// Минерал. журн. 1990. № 1. С. 66-71.
- Тарашан А.Н. Лакминесценция минералов. Киев: Наук. думка, 1978. 296 с.
- Типоморфизм кварца Украины. Киев: Наук. думка, 1974. 123 с.
- Трухин В.Н., Животнев А.Я. О температуре образования золота и глубине формирования рудных тел на Утинском месторождении// Колыма. 1974. № 10. С. 39-40.
- Токова Е.Э., Гибшер Н.А. Развитие гидротермального процесса магматогенно-рудного узла Яно-Колымской складчатой системы// Ново-Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ. Новосибирск: Наука, 1989. С. 67-74.
- Уманский Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников. М.: Металлургия, 1969. 496 с.
- Фатянов И.И., Молчанов В.П. Сравнительная характеристика гидротерм, формировавших месторождения золото-кварцевой мало-сульфидной формации в разных складчатых областях// Геохимия золота. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 42-49.
- Ферсман А.Е. Избр. труды. Т. 6. Пегматиты. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 742 с.
- Фирсов Л.В. О некоторых особенностях морфологии, структуры и текстуры золотоносных кварцевых жил// Тр. БНИИ-1. Вып. 6. Магадан, 1954.
- Фирсов Л.В. Главнейшие структурно-морфологические типы золоторудных месторождений Яно-Колымского золотоносного пояса// Там же. 1957. Вып. 27. С. 1-25.
- Фирсов Л.В. Новый факт в пользу коллоидного образования кварцевых жил// Там же. 1957. Вып. 19. С. 1-9.
- Фирсов Л.В. О ложных пересечениях кварцевых прожилков// Там же. 1959. Вып. 41. С. 81-92.
- Фирсов Л.В. О некоторых вопросах рудной золотоносности Яно-Колымского складчатого пояса// Геология и металлогенез Сов. сектора Тихоокеан. рудного пояса. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 290-305.
- Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. Автореф... дис. к. г.-м. н. Новосибирск, 1974. 48 с.

- Флеров И.Б., Шишkin В.А., Шашурина И.Т. О морфологии и возрасте золоторудных тел Шаманих-Столбовского района// Колыма. 1970. № 10. С. 41-42.
- Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. Новосибирск: Наука, 1976. 286 с.
- Франк-Каменецкий В.А. Природа структурных примесей и величин в минералах. Л.: Наука, 1964. 239 с.
- Франк-Каменецкий В.А., Каменцев И.Е. Микроизоморфизм и условия образования кварца// Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенного минералообразования. Л.: Наука, 1967. С. 68-76.
- Хаджи И.П., Хаджи В.Е. Электронно-микроскопическое исследование синтетического кварца с неструктурной примесью// Докл. АН СССР. 1967. Т. 172, № 6. С. 1321-1323.
- Холмов Г.В. Результаты минерало-петрографической съемки Шерловогорского вольфрамитового месторождения летом 1928 г.// Тр. Геолкома. 1929. Т. 48, № 10. С. 75-114.
- Царев В.В., Плюснина И.И., Дубровинская Н.А. Типоморфные свойства кварца как показатель условий его образования и продуктивности// Изв. ВУЗов. Сер. геологии и разведка. 1985. № 9. С. 27-33.
- Цинобер А.Л., Каменцев И.Е. Влияние скорости роста на концентрацию центров дымчатой окраски и параметры элементарной ячейки кристаллов синтетического кварца// Кристаллография. 1964. Т. 9. Вып. 3. С. 448-450.
- Цинобер А.Л., Самойлович М.И. Структурные дефекты в кристаллах кварца как чувствительные индикаторы особенностей процесса минералообразования// Минералогия и минералогическая кристаллография. Свердловск, 1971. С. 179-187.
- Чайковский В.К. Геология оловорудных месторождений Северо-Востока СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 335 с.
- Чеботарев Г.М., Плюснина И.И., Халматова Н.А., Глушченко Е.Н. К типоморфизму кварца золоторудных месторождений Западного Узбекистана// Зап. Узб. отд. ВМО. 1986. Вып. 39. С. 28-31.
- Чуриков В.С. Одном типе заполнения трещин при гигиенном рудообразовании// Сов. геол. 1956. № 50. С. 90-101.
- Чухров Ф.В. Восточно-Коунарадское месторождение как представитель кварцево-молибденитовой формации Центрального Казахстана// Там же. 1948. № 31. С. 68-75.
- Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 671 с.

- Чухров Ф.В. Некоторые вопросы типоморфизма минералов// Типоморфизм минералов и его практическое значение. М.: Наука, 1972. С.6-15.
- Шахов Ф.Н. Геология жильных месторождений. М.: Наука, 1964.
- Шило Н.А. Геологическое строение и коренные источники Яно-Колымского пояса россыпной золотоносности// Тр.ВНИИ-1. Магадан, 1960. Вып.63. 108 с.
- Шило Н.А., Гончаров В.И., Альгевский А.В., Ворцепинев В.В. Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1988. 181 с.
- Шубников А.В. Кварц и его применение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 104 с.
- Эшкен В.Ю., Богданова Г.Н., Персинен А.А. ТермоЛинесценция кварца и ее практическое значение// Физика минералов и проблема типоморфизма. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. С.90-98.
- Юргенсон Г.А., Тушников В.Е., Широкий О.И. Вариации состава и свойств жильного кварца месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации как отражение рудной зональности и условий образования// Геология рудн.месторождений. 1979. № 3. С.56-67.
- Юргенсон Г.А. Типоморфизм рудноносного жильного кварца. М.: Недра, 1984. 150 с.
- Кикин Н.П. Теория и методы минералогии. Л.: Наука, 1977. 291 с.
- Яковлев Я.В., Моякунов Э.В., Соловьев Л.И., Холмогоров А.И. О распределении золота в гидротермальных образованиях комплексных оловорудных узлов// Геология и минералогия рудных узлов Яно-Колымской складчатой системы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. С.60-72.
- Carter N.L., Christic J.M., Griggs D.T. Experimental deformation recrystallization of quartz // J. Geol. 1964. Vol.72, N 6.
- Chernov A.A. Khadzi V.E. Trapping of colloidal inclusions in the growth of quartz crystals // J. Cryst. Growth, 1968. N 3-4 pp. 641-646.
- Cohen A.J., Hodge E.S. Zonal specificity and ionspecificity certain impurities during growth of synthetic L-quartz // J.Phys. and Chem. Solids, 1958, Vol. 7. P. 361-362.
- Dennnen W.H., Blacburn W.H., Quesada A. Aluminium in quartz as a geothermometer // Contr. to Miner. and Petr. 1970. Vol.27. P. 332-342.

- White W.H. The mechanism and environment of gold deposition in veins // Econ. Geol. 1943. Vol. 38. N 6. PP. 512-532.
- White S. Hydroxyl ion diffusion in quartz // Nature Phys. Sci. 1971. Vol. 230. nN 17. P. 192.
- Wünsch K. Zur Mineralassoziation und Spurenelementgeochemie metamorphogenes Quarzkörper im Sudteil der DDR // Zeitschrift angew. Geologie. 1990. Vol. 36. N 2. S. 54-59.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава I. Краткие сведения по типоморфизму кварца и методика его изучения	9
Глава 2. Типы золотоносных кварцевых жил	24
Глава 3. Морфогенетическая характеристика кварца	38
Глава 4. Состав и свойства золотоносного жильного кварца	58
Глава 5. О газово-жидких включениях в кварце	80
Глава 6. Генезис золотоносных кварцевых жил	87
Глава 7. Прикладные аспекты использования типоморф- ных признаков кварца	95
Заключение	II7
Литература	II9

Н.А.Горячев
 ЖИЛЬНЫЙ КВАРЦ
 ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
 ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА

Графика: Н.Е.Савва, Н.А.Горячев

Подписано к печати 04.02.1992 г.
 Формат 60x84/16.
 Объем 8,25 уч.-изд.л.; 8,15 усл.п.л.
 Тираж 400 экз. Заказ 7
 Цена Зр.30к.

Отпечатано в офсетно-ротапринтном цехе СВКНИИ
 ДВО Российской Академии наук. Магадан, Портовая, 16