

Е.И. ДОЛОМАНОВА, Г.А. ГОРБАТОВ, Г.О. ПИЛОЯН, А.Б. УСПЕНСКАЯ

ТЕМПЕРАТУРА ИНВЕРСИИ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ДРУГИЕ СВОЙСТВА КВАРЦА РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

Кварц является одним из основных породообразующих минералов. Он входит в состав многих горных пород и является жильным минералом большинства рудных месторождений. Поэтому знание его физических и химических особенностей необходимо для выявления типоморфных свойств, характеризующих условия образования кварца. Полученные данные могут быть использованы и в поисковых целях. Изучение физических свойств выявляет также оптимальные условия разрушения горных пород, содержащих кварц, с целью добычи полезных ископаемых.

Нами изучался преимущественно кварц жильных оловорудных месторождений. Со сравнительной целью исследовался кварц некоторых пород, вмещающих эти месторождения, а также кварц пегматитов, кварцевых порфиров и нерудоносных жил, образованием которых заканчивается гидротермальный процесс на месторождениях.

Кварц кристаллизуется в широком диапазоне физико-химических условий, начиная от магматических и кончая гипергенными. Существует несколько модификаций кремнезема, но нами изучались только β - и α -модификации. Известно, что β -кварц существует в интервале температур от 830 до 573°С. При более низкой температуре он переходит в α -модификацию, т.е. изменяется его сингония с гексагональной на тригональную. Но несмотря на это в структуре α -кварца, как показали исследования [1], сохраняются следы его бывшей гексагональной структуры. Это обстоятельство позволяет отличать бывший β -кварц от α -кварца по физическим свойствам в любой породе, так как оказалось, что он влияет на эти свойства.

У кварца разного генезиса ранее измерялись скорости распространения упругих продольных волн [2], коэффициенты линейного расширения при нагревании [3], пьезоэлектрические модули [4], инфракрасные спектры (ИК-спектры) в области 3800–2000 см⁻¹ [5–7]. В настоящей статье приведены данные о плотности кварца, о температуре инверсии, потере веса при его нагревании и диэлектрической проницаемости при комнатной температуре.

В процессе изучения установлено, что физические свойства зависят от химического состава кварца, его структуры и строения агрегатов. В совокупности все это характеризует условия образования кварца.

Температура инверсии кварца разного генезиса

В 60 образцах разного генезиса изучалась температура инверсии (табл. 1). Термические кривые записывались на терморегистраторе НТР-70 в лаборатории ИГЕМ АН. Скорость нагрева 1,25°/мин; чувствительность накала регистрации кривой ДТА — 0,5°/см; разрешающая способность — 0,3° в мин; навеска вещества — 300 мг; предельная абсолютная ошибка измерения температуры $\pm 0,5^\circ$. Высокая чувствительность и разрешающая способность термической установки позволила выявить на термических кривых различных кварцев некоторые особенности полиморфных превращений.

У кварца из оловоносных гранитов (3 образца) температура инверсии колеблется в среднем в пределах 570,5–572,1°С (при доверительной вероятности 0,95 доверительный интервал $\pm 3^\circ\text{C}$). Гистерезис между нагреванием и охлаждением отрицательный и составляет — 0,2–0,3° и только у кварца из гранита месторождения Алдакачан он больше +1,7°С и положительный.

У сливного кварца из пегматитовых жил (12 образцов), сложенных часто α - и β -модификацией, отличающихся различным содержанием изоморфных примесей Al^{3+} и Ti^{3+} и химической природой элементов — компенсаторов заряда (Na^+ ,

Таблица 1
Данные термографического изучения кварца

Образец	Месторождение и порода, из которой взят кварц	Температура инверсии, °С			Термический гистерезис	Характер термического эффекта
		при нагревании	при охлаждении	средняя		
1	2	3	4	5	6	7
3196	Адун-Чолон; порфирированный лепидомелановый гранит	572,0	572,2	572,1	-0,2	Расщепленный
1-зу	Зун-Ундурское; порфирированный двуслюдяной гранит	572,1	571,5	571,8	-0,3	
8	Алдакачанское; порфирированный двуслюдяной гранит	571,4	569,7	570,5	+1,7	Слабо расщепленный
β-модификация,	Вольнское, кварц с "сотовой" структурой из пегматита	571,3– 571,4	571,5– 570,7		+0,7	Сильно расщепленный
3120 ^а	Адун-Чолон; кварц с "сотовой" структурой – внутренняя зона кристалла; из пегматита	571,6	571,5	571,5	+0,1	То же
3120 ^б	Адун-Чолон; кварц дымчатый, внешняя зона кристалла; из пегматита	571,6– 572,9	571,8– 573,2			"
3262	Адун-Чолон; кварц серый из кристалла в блоковой зоне пегматита	572,8	573,2	573,0	-0,4	Расщепленный
3155	Адун-Чолон; кварц бесцветный прозрачный, из центральной зоны пегматитовой жилы	571,1	570,0	570,5	+1,1	"
3241	Адун-Чолон; кварц голубовато-серый, сливной, из центральной зоны пегматитовой жилы	568,4– 570,9	572,1– 569,6	569,9	+1,3	Сильно расщепленный
3283 ^а	Этыкинское; кварц бесцветный из крупноблокового пегматита	573,5	575,0	574,2	-1,5	
3283	Этыкинское; кварц дымчатый из того же пегматита	572,1	572,9	572,5	-0,8	Расщепленный
3312	Этыкинское; кварц дымчатый из линзы с пегматоидным строением	572,3	571,4	571,8	+0,9	"
3286	Этыкинское; кварц светло-серый, из центральной зоны пегматитовой жилы	572,9	573,9	573,4	-1,0	Слабо расщепленный
32	Ононское; кварц темно-серый, местами с "сотовой" структурой, из центральной зоны пегматитовой жилы	573,1– 574,5	572,5– 575,8			Сильно расщепленный
1-ин	Ингодинское; кварц темно-серый из пегматоидных обособлений в г ₁ анипорфире	570,5	569,0	569,7	+1,5	
3320 ^а	Этыкинское; кварц бесцветный, жильный, первой стадии минерализации	572,4 572,4	571,9 573,0	572,1 572,7	+0,5 -0,6	Слабо расщепленный
3320 ^б	Этыкинское; кварц дымчатый, жильный, первой стадии минерализации	572,7	572,2	572,4	+0,5	Сильно расщепленный
3310	Этыкинское; кварц светло-серый и белый; вторая стадия минерализации	572,2	571,4	571,9	+0,8	

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
3284	Ималкинское; кварц жильный серый, сливной, местами с "сотовой" структурой; первая стадия минерализации	572,4	572,5	572,4	-0,1	
1-И	Ималкинское; гребенчатый нерудоносный кварц	545,0				
368	Адун-Чолон; кристалл мориона поросший турмалином; первая гидротермальная стадия; из жилы кварца, секущей пегматитовую	572,7	572,9	572,8	-0,2	Сильно расщепленный
3122	Адун-Чолон; двухконечные кристаллы коричнево-серого кварца, вторая гидротермальная стадия	573,4	572,8	573,1	+0,6	
17	Шумиловское; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	571,6	571,5	571,5	+0,1	Расщепленный
191	Молодежное; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	572,5	573,1	572,8	-0,6	Слабо расщепленный
240	Зун-Ундурское; кристаллы шестоватого, зонального кварца светло-серого и белого цвета из центра жилы; 1-3 стадии минерализации	543,0				
415	Зун-Ундурское; кварц гребенчатый, прозрачный бесцветный, нерудоносный	540,0				
395	Зун-Ундурское; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	571,7	571,6	571,6	+0,1	
180	Дедова Гора; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	572,2	573,2	572,7	-1,0	Слабо расщепленный
115	Дедова Гора; кварц белый и бесцветный, гребенчатый или шестоватый, нерудоносный	550,0				
3364	Алдакачанское; кварц серый, сливной, из зальбанда жилы; первая стадия минерализации	571,2	571,8	571,5	-0,6	То же
3365	Алдакачанское; плоские кристаллы зонального кварца из центра жилы; 1-2 стадии минерализации	573,0	572,9	573,0	+0,1	Расщепленный
3366	Алдакачанское; пластинчатые мелкие кристаллы белого кварца второй стадии минерализации	572,6	571,6	572,1	+1,1	
153	Ушмунское; кварц серый сливной жильный; первой стадии минерализации на контакте с грейзеном по граниту	572,3	571,5	571,9	+0,8	Слабо расщепленный
264	Ушмунское; тот же кварц на контакте с грейзеном по алевролиту	572,0	572,1	572,0	-0,1	
119	Ушмунское; тот же кварц на контакте с грейзеном по углисту известняку	572,3	571,8	572,0	+0,5	

Таблица I (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
1021	Ушмунское; тот же кварц на контакте с грейзеном по доломиту	573,0	572,3	572,6	+0,7	Расщепленный
124	Баджираевское; кварц серый сливной, жильный, первой стадии минерализации	573,6	573,5	573,6	+0,1	Расщепленный
102	Приваловское; кварц серый сливной, жильный, первой стадии минерализации	571,8	573,1	572,3	-1,3	"
46	Ононское; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	571,3	574,0	572,6	-2,7	Слабо расщепленный
65	Ангатуйское; кварц серый и голубовато-серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	573,4	573,0	573,2	+0,4	То же
263	Будюмканское; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	572,4				Расщепленный
104	Будюмканское; кварц серый, сливной, жильный; первой стадии минерализации	574,4	574,4	574,4	0,0	
1152	Шерловая Гора; кварц темно-серый и дымчатый, почти черный; первая стадия минерализации; из жилы, залегающей в гранитном массиве	572,3	572,2	572,2	+0,2	Сильно расщепленный
2014	Шерловая Гора; кристалл зонального мориона из занорыша в жиле, залегающей в гранитном массиве	573,0	572,3	572,6	+0,7	То же
6	Шерловая Гора; кварц серый, сливной; из молибденит-кварцевых прожилков, залегающих в гранитном массиве	572,2	571,2	571,6	+0,9	Расщепленный
250	Шерловая Гора; кварц серый, сливной; первая стадия минерализации; из штокверка в роговиках	571,3	569,8	571,0	+0,5	"
248	Шерловая Гора; кварц серый, сливной; второй стадии минерализации; из штокверка в роговиках	571,4	571,3	571,3	+0,1	"
298	Шерловая Гора; кварц светло-серый, сливной, полупрозрачный, мелкозернистый; пятой стадии минерализации	571,7	572,0	571,8	-0,3	Слабо расщепленный
3086	Шерловая Гора; кварц гребенчатый, бесцветный, мелкокристаллический; VI стадии минерализации. Из штокверка в кварцевом порфире	572,7	572,4	572,5	-0,3	
1192	Лево-Ингодинское; мелкие кристаллы прозрачного кварца из штокверка	572,5	572,4	572,9	+1,1	Расщепленный
8	Сохондо; кварц бесцветный, прозрачный; первая стадия минерализации	572,8	572,3	572,5	+0,5	Сильно расщепленный
900	Сохондо; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	571,2	571,3	571,2	-0,1	Слабо расщепленный

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
1-К	Комсомольское; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	571,5	571,2	571,3	+0,3	Не резкий
529	Беринское; кварц серый, сливной жильный; первая стадия минерализации	573,6	573,8	573,7	-0,2	Не резкий
302	Тарбальджей; кварц серый, сливной, жильный; первая стадия минерализации	572,4	571,7	572,0	+0,7	Слабо расщепленный
3515	Хапчеранга; кварц светло-серый сливной, жильный; первой стадии минерализации	572,2	573,0	572,6	-0,8	Не резкий
3585	Южно-Харатуйское; кварц гребенчатый, серовато-белый, мелкокристаллический, непрозрачный; первая стадия минерализации	571,3	571,6	571,4	-0,3	То же
1-П	Подольское; кристаллы бесцветного кварца из жезд в карбонатных породах	574,2	574,3	574,3	-0,1	
1-Оз	Озерное; аналогичный кварц, что и в месторождении Подольское	573,2	573,1	573,1	-0,9	Расщепленный
497	р. Алгома (Алдан); синий кварц из гранита	574,3	573,8	574,0	+0,5	"

Li⁺), средняя температура инверсии варьирует широко от 569,7 до 574,2°С; гистерезис значительный и достигает ± 1,5°, причем он больше у сливного кварца, состоящего из различных по величине и окраске зерен, и меньше у кварца из кристаллов.

У жильных кварцев первой стадии минерализации (3 образца) из месторождений касситерит-полевошпат-кварцевой формации средняя температура инверсии очень близка к 572,7–573,1°С. Гистерезис ± 0,5–0,1°. У кварца второй стадии минерализации температура инверсии 571,8°, а гистерезис +0,8°, т.е. температура инверсии ниже, а гистерезис больше. У гребенчатого нерудоносного кварца (1 образец) из этих месторождений эффект инверсии наблюдался при 545°.

У жильных гидротермальных высокотемпературных кварцев (15 образцов) первой стадии минерализации из месторождений касситерит-кварцевой формации средняя температура инверсии колеблется от 571,5 до 574,4°; а гистерезис от ± 0,1 до +0,8–1,3°; положительные и отрицательные его величины составляют примерно по 50%. Неясно, какими причинами вызван наиболее высокий (–2,7°) гистерезис в обр. 46 из Ононского месторождения. Средняя температура инверсии у жильного кварца, залегающего в гранитах, несколько меньше, чем у аналогичного кварца, залегающего в песчанико-сланцевых и карбонатных породах. В кварце второй стадии минерализации (3 образца) средняя температура инверсии более стабильна 572,1–573,1°; гистерезис положительный от +0,1 до +0,6. У гребенчатого нерудоносного кварца эффект инверсии наблюдался в интервале 540–550°.

У кварца первой стадии минерализации из месторождений касситерит-кварц-сульфидной формации, залегающего в гранитоидах, средняя температура инверсии колеблется от 571,2 до 573,7°, а гистерезис чаще положительный от 0,1 до 0,7° и реже отрицательный от –0,1 до –0,2°. У кварца из штокверка месторождения Шерловая Гора (от I до V стадий минерализации) средняя температура инверсии очень близка 571,0–571,8°; гистерезис в большинстве случаев положительный +0,1; +0,9° и реже, в кварце последних (V, VI) стадий минерализации, отрицательный –0,3°. Лишь в кварце VI стадии минерализации средняя температура инверсии несколько выше – 572,5°.

У кварца первой стадии минерализации (2 образца) из месторождений касситерит-сульфидных формаций средняя температура инверсии также несколько различает-

ся: она выше у кварца из месторождения Халчеранга ($572,6^\circ$) и ниже у кварца из Южно-Харатуйского месторождения ($571,4^\circ$). Гистерезис у обоих кварцев отрицательный, но больше у первого кварца ($-0,8^\circ$) и меньше ($-0,3^\circ$) у второго. К сожалению, этот тип месторождений редок в Забайкалье и количество образцов кварца недостаточно для выявления закономерностей изменения температуры инверсии.

У кварца экзогенного происхождения средняя температура инверсии либо очень близка ($573,1^\circ$) к теоретической ($573,3^\circ$), либо несколько выше ее ($574,3^\circ$). Гистерезис отрицательный, но резко различный: в первом образце $-0,1^\circ$; во втором $-0,9^\circ$.

У синего кварца из гранитного массива в районе р. Алгома (Алдан) средняя температура инверсии $574,0^\circ$. Гистерезис положительный и небольшой ($+0,5^\circ$). По температуре инверсии синий кварц из неоловоносных гранитов архейского возраста резко отличается от серого и дымчатого кварца оловоносных гранитов верхнеюрского возраста.

Исследованиями установлено, что самые большие колебания температуры инверсии наблюдаются у сливных кварцев, представляющих собой агрегат неодинаковых по размеру и химическому составу зерен, среди которых присутствует α - и β -модификация кварца.

По характеру термограмм все изученные кварцы можно разбить на три группы.

1. Кварц, на термограммах которого термический эффект полиморфного перехода имеет один простой пик, т.е. классическую форму. Но у кварца из разных месторождений площадь этого пика неодинакова. К этой группе относится более или менее однородный жильный кварц разных оловорудных формаций.

2. Кварц с необычной формой термического эффекта, т.е. последний бывает расщеплен на две, три и более части. У одних кварцев расщепление пика резко выражено, у других — слабо или едва намечается. Глубина пика больше у первых и меньше у вторых. Наиболее сильное расщепление пика у кварца, ранее прошедшего инверсию (β -модификация), или у тех сливных кварцев, где много зерен такого кварца, а также у кварца с высоким содержанием элементов-примесей. Часто они окрашены в темно-дымчатый цвет, но бывают и бесцветными или слегка голубоватыми. Преимущественно сильное расщепление термического эффекта наблюдается у высокотемпературных пегматитовых и гидротермальных кварцев.

3. Кварцы, на термограммах которых термический эффект полиморфного перехода происходит при температуре ниже 550° . К числу их относятся гребенчатые нерудоносные кварцы из жил, образованием которых заканчивается гидротермальный процесс на многих месторождениях.

Вариации температуры инверсии кварца, как предполагают исследователи [8], обусловлены вариациями химического состава кварца. Нашими исследованиями показано, что нет прямой связи между содержанием различных элементов в структуре кварца и температурой полиморфного перехода. Зависимость более сложная и обусловлена совокупностью различных факторов, характеризующих условия образования кварца. Главными среди них являются термическая предыстория кварца, температура кристаллизации его, присутствие изоморфных элементов-примесей, их состав и количество. Возможно, что на температуру инверсии оказывает влияние и состав растворов, заполняющих структурные и дефектные каналы в кварце.

Диэлектрическая проницаемость кварца

Диэлектрическая проницаемость ϵ кварца из пород и рудных тел оловянных месторождений изучалась в лаборатории ВИМС. Всего изучен 61 образец кварца разного генезиса (табл. 2). Определение ϵ производилось способом погружения порошков кварца (фр. $-0,25 + 0,15$ мм) в жидкие диэлектрики гетеродинным методом на частоте 1 МГц при температуре $+25^\circ\text{C}$ [9].

Выделены три группы образцов кварца, характеризующихся различной зависимостью ϵ от содержания суммы щелочей в кварце, от степени дефектности, обусловленной вхождением в кварц изоморфных примесей Al^{3+} и Ti^{3+} [10], и от химического состава газовой-жидких включений в кварце.

Таблица 2
Диэлектрическая проницаемость кварца разного генезиса, потеря веса и плотность

Образец	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	Потеря веса, %	Плотность, г/см ³	Образец	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	Потеря веса, %	Плотность, г/см ³
Первая группа							
3196	4,52						
3120 ^а	4,53	0,0482	2,635	1/Ин	4,72		
3120 ^б	4,55	0,0419		2001	4,60		
3262	4,48	0,0450	2,641	β -модификация	4,46	0,0225	2,641
3155	4,44						
3241	4,54	0,0436	2,637				
368	4,45	0,0648	2,630				
3183	4,50	0,0548		3122	4,46	0,0984	2,641
3312	4,49	0,0606		3310	4,66	0,0997	
3286	5,46	0,1296	2,659	240		0,2785	2,621
3320	4,54	0,0705	2,638	115	4,62		2,626
3284	4,63		2,610	3365	4,55		
32	4,50	0,0090	2,641	1152	4,48	0,0233	2,648
46	4,54	0,0714	2,648	1149	4,56	0,0127	2,641
17	4,72	0,0853	2,639	2014	4,50	0,0089	2,654
1051	4,74	0,0777	2,637	6	4,51	0,1021	2,640
76	4,83	0,1097	2,637	250	4,57	0,1084	2,638
59	4,59		2,632	248	4,61	0,1125	2,642
1-зу	4,59			3276	4,47	0,0415	2,638
395	4,77	0,1927	2,633	298	4,59	0,1569	2,647
180	4,60		2,641	8-сх	4,43	Не обн.	2,643
8-А	4,60			900	4,68	0,1539	2,637
3364	4,70	0,0833	2,638	1-к	4,82		2,640
3366	4,70	0,0429		529	4,74		2,633
153	4,66	0,1926	2,627	370	4,45		2,631
264	4,70			3515	4,70	0,0608	2,647
119	4,74	0,2046	2,627	3519	4,74	0,0455	2,646
1021	4,75	0,2035	2,624	3585	4,46		2,635
263	4,68	0,0972	2,625				
104	4,92	0,1097	2,620				
65	4,63	0,0973	2,623	1-н	4,47	0,0698	2,646
124	4,75	0,0977	2,645	415	4,48	0,0214	2,635
102	4,76	0,1534	2,643	3086	4,44		2,642
				1482	4,48		2,636
				1-п	4,45		2,647
Третья группа							

Примечание. Обр. 1 — Зун-Ундурское м-ние. Кварц темно-серый из гранита; обр. 1-Ин — Ингодинское м-ние. Кварц темно-серый и серый из пегматоидных выделений в гранит-порфире; обр. 8 — Алдакчанское м-ние. Кварц темно-серый и серый из порфиридного гранита; обр. 76 — Молодежное м-ние. Кварц темно-серый из участка жилы № 5 с пегматоидным строением; обр. 59 — Асаканское м-ние. Кварц темно-серый и серый, катаклазированный, первая генерация; обр. 2001 — Шерловая Гора. Кварц темно-серый из порфиридных выделений в гранит-порфире; обр. 1149 — Шерловая Гора. Кварц серый сливной, катаклазированный, из жилы, залегающей в граните, первая генерация; обр. 1 — Ималкинское м-ние. Кварц гребенчатый, белый, нерудоносный; обр. 415 — Зун-Ундурское м-ние. Кварц гребенчатый, бесцветный, полупрозрачный, нерудоносный; обр. 3086 — Шерловая Гора. Кварц гребенчатый, прозрачный из штокверка, V1 стадия минерализации; обр. 1482 — Ингодинское м-ние. Кварц гребенчатый, бесцветный, нерудоносный. Характеристика остальных образцов дана в табл. 1.

В первую группу (38 образцов) вошел кварц оловоносных гранитов, пегматов и жильный кварц первой стадии минерализации месторождений касситерит-полевошпат-кварцевой и касситерит-кварцевой формации, состоящий нередко из α - и β -модификаций [5-7]. Эти кварцы характеризуются относительно небольшим количеством щелочей и наибольшим содержанием (о.д.-о.оп%) изоморфной примеси Al^{3+} и Ti^{3+} . Компенсатором заряда обычно выступает Na^+ , так как при γ -облучении эти кварцы интенсивно окрашиваются в дымчатый цвет. С увеличением содержания в кварце изоморфных Al^{3+} и Ti^{3+} резко уменьшается значение

ϵ от 5,46 до 4,44, а с повышением количества газовой-жидких включений ϵ увеличивается. По-видимому, в этом случае сказывается преобладание жидкой фазы над газовой, представляющей собой ионный солевой раствор, проводящий электричество. По величине диэлектрической проницаемости резко различаются α - и β -модификации, от соотношения которых в жильном кварце также зависит диэлектрическая проницаемость: $\epsilon_{\alpha} = 4,72 \pm 0,05$ (5 образцов), $\epsilon_{\beta} = 4,50 \pm 0,03$ (6 образцов). Намечается тенденция влияния степени катаклаза кварца на величину диэлектрической проницаемости.

Во вторую группу (19 образцов) вошли кварцы второй стадии минерализации из месторождений касситерит-кварц-сульфидной и касситерит-сульфидной формации. Эти кварцы относятся к α -модификации и содержат больше щелочей и меньше ($\sim 0,01-0,001\%$) изоморфной примеси Al^{3+} и особенно Ti^{3+} . С увеличением содержания щелочей величина диэлектрической проницаемости повышается от 4,50 до 4,78. В этой группе компенсаторами заряда являются Li^{+} , H^{+} и реже Na^{+} .

В третью группу (9 образцов) объединяются нерудоносные гребенчатые α -кварцы, содержащие много щелочей и мало изоморфной примеси Al^{3+} ($\sim 0,001\%$). Компенсаторами заряда являются Li^{+} и H^{+} . Для всех кварцев ϵ близка по значению и варьирует от 4,44 до 4,48.

Потеря веса при нагревании

Термогравиметрическое изучение кварца разного генезиса показало, что в пределах одного месторождения наблюдается тенденция увеличения потери веса при нагревании от высоко- к низкотемпературным рудоносным кварцам (табл. 2). Гребенчатый нерудоносный кварц имеет меньшую потерю веса. Потеря веса происходит за счет вскрытия при нагревании вакуолей, содержащих минералообразующий раствор. В связи с этим кварц, содержащий преимущественно включения газообразной фазы, имеет меньшую потерю веса, чем кварц, в вакуолях которого преобладает жидкая фаза. Кроме того, установлено, что потеря веса зависит и от размера вакуолей. Очень мелкие однофазовые вакуоли не вскрываются даже при нагревании до $900^{\circ}C$. Очевидно, в связи с этим гребенчатый нерудоносный кварц имеет небольшую потерю веса, так как содержит очень много мелких вакуолей. Величина потери веса кварцем при нагревании зависит также от степени его катаклаза, который приводит к вскрытию преимущественно наиболее крупных вакуолей. Она зависит и от состава вмещающих пород, в которых формируются жилы. Например, наблюдалось обогащение кварца углекислотой в тех случаях, когда он кристаллизовался в карбонатных породах.

Плотность кварца разного генезиса

Плотность кварца измерялась методом гидростатического взвешивания в лаборатории ИГЕМ АН СССР. У кварцев, взятых из разных структурных зон пегматитовых жил, она колеблется от 2,631 до 2,654. Наиболее высокая плотность присуща недеформированному (или слабо деформированному) сливному кварцу из пегматитовых жил Ононского, Этыкинского, Шумиловского месторождений (рис. 1, табл. 2). В пределах одного месторождения более высокая плотность у кварца из крупноблоковых зон и меньшая у кварца из центральных зон пегматитовых тел. Плотность высокотемпературного гидротермального кварца из жил, секущих пегматитовые тела, зависит также от характера деформации кварца. Если он претерпел сильное одностороннее сжатие (рис. 2), то плотность очень высокая (2,651–2,654). Плотность низкотемпературного нерудоносного гребенчатого кварца из жил, распространенных на пегматитовых месторождениях, более низкая (2,631). Плотность халцедона из таких жил составляет 2,636.

Плотность жильного кварца первой стадии минерализации из месторождений касситерит-полевошпат-кварцевой формации колеблется в пределах от 2,632 до 2,659 (рис. 2). Наибольшая плотность у кварца, подвергшегося сжатию с изгибом (2,659). У гребенчатого кварца из низкотемпературных гидротермальных жил она равна 2,646 и выше, чем у аналогичного кварца из пегматитовых месторождений.

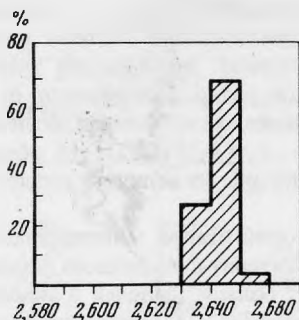


Рис. 1. Гистограмма плотности кварца из пегматитовых жил

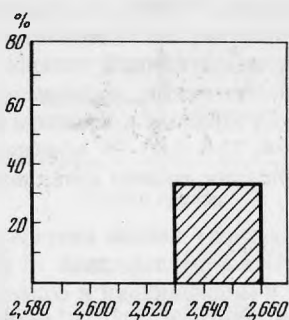


Рис. 2. Гистограмма плотности кварца из жил, секущих пегматитовые тела и из месторождений касситерит-полевошпат-кварцевой формации

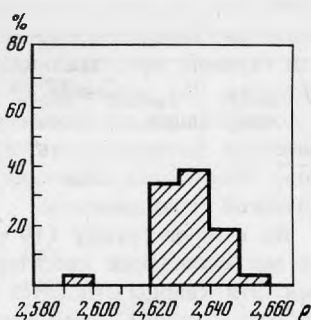


Рис. 3. Гистограмма плотности кварца из месторождений касситерит-кварцевой формации

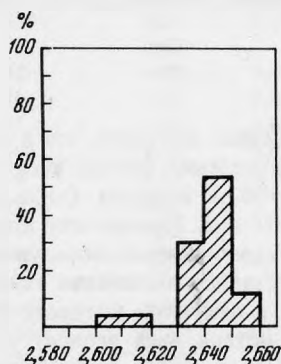


Рис. 4. Гистограмма плотности кварца из месторождений касситерит-кварц-сульфидной формации

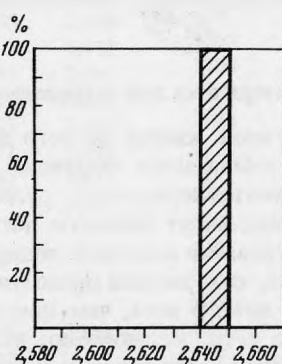


Рис. 5. Гистограммы плотности кварца из эффузивных пород

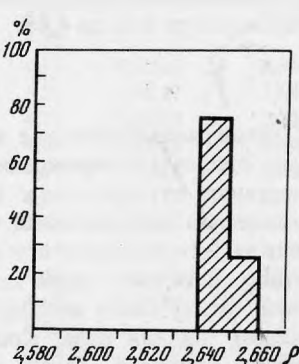


Рис. 6. Гистограммы плотности кварца из осадочных пород

Плотность жильного кварца первой стадии минерализации из месторождений касситерит-кварцевой формации колеблется в пределах 2,621–2,651 (рис. 3, табл. 2). В большинстве случаев она ниже, чем у кварца из пегматитовых жил. Здесь также очень ярко проявляется зависимость плотности от степени катаклаза и насыщенности кварца газово-жидкими включениями. По данным газового анализа наиболее газонасыщены кварцы жил, залегающих в карбонатных породах из месторождений Ушмунское и Будюмканское. Плотность этих кварцев колеблется в пределах 2,625–2,631 и в среднем составляет 2,627. Средняя плотность кварца из жил, залегающих в гранитах, ниже, чем из жил, залегающих в песчанико-сланцевых породах. Плотность шестоватого зонального кварца (Зун-Ундур) из осевой части жил, сложенного кварцем первой, второй и третьей генераций, наиболее низкая – 2,621. Плотность гребенчатого нерудоносного кварца 2,626 и 2,635 и кварцина и халцедона, кристаллизующихся в конце гидротермального процесса, – наименьшая 2,621–2,591.

Кварц из месторождений касситерит-кварц-сульфидной формации более мелкозернистый, чем ранее описанный, и менее интенсивно катаклазированный. Плотность кварца главной продуктивной стадии минерализации колеблется в пределах от 2,619 до 2,648 и в среднем составляет 2,638 (табл. 2, рис. 4).

В пределах одного месторождения, например Комсомольского, Сохондо, более низкая плотность у кварца, сильнее раздробленного и содержащего больше газово-жидких включений. В более сложном Шерловогорском месторождении плотность кварца первой стадии минерализации из жил, залегающих в граните, колеблется от 2,636 до 2,648 и в среднем составляет 2,642. Почти такая же плотность (2,640) и у кварца второй стадии минерализации.

Плотность кварца из кварцевого грейзена, прилегающего к упомянутым жилам, колеблется от 2,642 до 2,657 и в среднем выше, чем у кварца жил, — 2,648. Плотность кристаллов кварца из занорыша в жиле — 2,654; из занорыша в грейзене — 2,657, т.е. наиболее высокая, так как этот кварц не деформирован тектоническими процессами. Плотность кварца разных стадий минерализации из рудоносного штокверка (Шерловая Гора) колеблется в пределах от 2,638 до 2,657, а в среднем та же, что и у кварца жил, т.е. 2,644. На месторождениях этой формации также встречаются жилы и прожилки гребенчатого нерудоносного кварца, плотность которого значительно ниже, — 2,607–2,636.

Плотность кварца из месторождений касситерит-сульфидной формации, например из месторождений Хапчеранга и Южно-Харатуйского, колеблется менее значительно (от 2,643 до 2,652), чем в месторождениях упомянутых выше формаций (табл. 1, рис. 4).

Плотность кварца из жеод эффузивных пород 2,640 и 2,649; порфиридных вкрапленников из кварцевых порфиров месторождений Самшвильди и Кафан равна соответственно 2,643 и 2,645 (табл. 1, рис. 5).

Плотность недеформированного кварца экзогенного происхождения из жеод в карбонатных породах Подмосковья несколько различается. У кварца из месторождения Озерное она равна 2,645, из Подольского — 2,647, из Русавкина и Верей — 2,640 (рис. 6).

Теоретическая плотность кварца равна 2,65. Наиболее близкие к ней значения плотности имеет кварц из жеод и занорышей в породах, жилах и грейзенах. Деформация кварца по-разному влияет на его плотность: сжатие увеличивает, а дробление — уменьшает ее. Большое количество газовой жидкой включений также снижает плотность кварца.

Впервые установлено, что температура инверсии гребенчатого нерудоносного кварца происходит в интервале 540–550°С.

По-видимому, это обусловлено тем, что гребенчатый кварц содержит больше лития и воды, чем все другие генетические типы кварца.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Б.И. Доломанова, С.С. Квитка.* Рентгенометрическое излучение β - и α -модификаций кварца с целью их диагностики в сливных жильных его агрегатах — ДАН СССР, 1972, т. 204, № 4.
2. *А.Б. Успенская, М.Г. Абдульманов, Е.И. Доломанова.* Зависимость скорости распространения упругих продольных волн в жильных кварцах оловорудных месторождений от генезиса. — Изв. вузов, Сер. геология и разведка, 1969, № 11.
3. *А.Б. Успенская.* Изменение коэффициента линейного расширения жильных кварцев оловорудных месторождений в зависимости от температуры нагревания. — Изв. вузов, Сер. геология и разведка, 1970, № 7.
4. *Е.И. Доломанова, А.Б. Успенская.* Пьезоэлектрические свойства жильных кварцев оловорудных месторождений. — В кн.: Очерки по геологии и геохимии рудных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1969.
5. *Е.И. Доломанова, М.С. Гасоян, Е.С. Рудницкая, Г.К. Тютнева, А.Б. Успенская.* Возможность применения метода ИК-спектрокопии для определения температуры образования сливных жильных кварцев. ДАН СССР, 1970, т. 192, № 1.
6. *Е.И. Доломанова, М.С. Гасоян, Е.С. Рудницкая, Г.К. Тютнева, А.Б. Успенская.* Определение состава примесей и температуры образования жильного и других кварцев по инфракрасным спектрам. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1972, вып. 21.
7. *Е.И. Доломанова, М.С. Гасоян, Н.В. Королев, Е.С. Рудницкая, Г.К. Тютнева, А.Б. Успенская, М.М. Элинсон.* Типоморфные особенности гидротермальных жильных кварцев. — В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М.: Недра, 1972.
8. *М.Л. Кейт, О.Ф. Туттл.* Значение вариаций точки превращения кварца. — В кн.: Экспериментальные исследования в области петрографии и рудообразования. М.: ИЛ, 1954.
9. *Г.А. Горбатов, Е.И. Доломанова.* Влияние генезиса кварца на величину диэлектрической проницаемости (ϵ). — Автореф. работ сотрудников ИГЕМ АН СССР за 1971 г. М., 1972.
10. *Е.И. Доломанова, Л.В. Ершов, М.С. Гасоян.* Изоморфные элементы примеси в жильном кварце оловорудных месторождений Забайкалья и их генетическое значение. — Изв. АН СССР. Сер. геол. 1972, № 6.