

М. Е. ЯКОВЛЕВА, О. Л. СВЕШНИКОВА, Т. С. БУТ

О РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ КВАРЦА И ХАЛЦЕДОНА

В процессе изучения минералогического состава яшм и других богатых кварцем и халцедоном микро- и криптокристаллических пород широко использовался метод рентгеновской дифрактометрии. Было подмечено, что дифрактограммы кварца и халцедона, вопреки существующему в литературе мнению об их полной идентичности (Малеев, М., 1971), обнаруживают заметные различия. Это наблюдение основано на большом количестве исследованных образцов. В общей сложности изучено около 100 образцов, среди которых специально подобранные для исследования кварцы и халцедоны из различных природных образований (табл. 1), а также богатые этими минералами породы.

Съемка проводилась на дифрактометре УРС-50 ИМ на Си-излучением в режиме $35\text{ kv} - 12\text{ ma}$. Значительная часть образцов была продублирована на ДРОНЕ (Си-излучение, режим $35\text{ kv} - 20\text{ ma}$). Для уменьшения ошибок, связанных с условиями эксперимента, степень измельчения материала и плотность набивки кюветы создавались для всех образцов одинаковыми. Интенсивность рефлексов на дифрактограммах определялась путем измерения высоты пика с учетом фона.

Сопоставление всех полученных дифрактограмм позволяет сделать следующие выводы. Дифракционные кривые кварца и халцедона весьма близки (рис. 1). Для них характерно, как правило, одинаковое число максимумов и неизменность их положения на рентгенограммах кварца и халцедона (табл. 2). Различие заключается, главным образом, в интенсивностях этих максимумов, обычно более слабых у халцедона. Кроме того, некоторые рефлексy иногда могут вовсе отсутствовать на дифрактограммах халцедона (табл. 2).

Остановимся подробнее на анализе тех рефлексов, которые могут быть использованы в диагностических целях. Такими являются отражения 110, 102 и 111. Обращает на себя внимание различие в соотношении интенсивностей этих отражений на рентгенограммах кварца и халцедона. Характер описываемых соотношений отчетливо виден на рис. 2, а величины соотношений даны в табл. 3.

Как видно из таблицы, величины соотношений интенсивностей не остаются постоянными, что, однако, не изменяет общего характера этих соотношений. Так на рентгенограммах халцедона отражение 110 почти всегда слабее отражения 102 (изредка равны), в то время, как на дифрактограммах кварца наблюдается обратная картина: отражение 110 — интенсивнее отражения 102. Самым слабым из трех рассматриваемых рефлексов как у кварца, так и у халцедона, является рефлекс 111. У халцедона этот рефлекс в отличие от кварца может быть очень плохо проявлен, а если и является достаточно четким, то всегда значительно

Таблица 1

Характеристика образцов кварца, халцедона и кварцина, подвергшихся исследованию

№ обр.	Минерал	Месторождение	Характеристика образца
1	Кварц	Якутская ССР	Горный хрусталь (альпийская жила)
2	То же	Забайкалье	Бледно-розовый прозрачный (пегматит)
7	»	Кент, Каз. ССР	Дымчатый просвечивает (пегматит)
9	»	Груз. ССР, р. Малка	Молочно-белый (вкрапленники в эффузивах)
10	»	Джида, Забайкалье	Молочно-белый (гидротермальная жила, с тетраэдритом)
8	»	Белорец, Алтай	Молочно-белый, тонкозернистый просвечивает (гидротерм. жила)
73514а	»	Галутвин, Моск. обл.	Бесцветный прозрачный (агат в известняках)
3	Халцедон	Ступино, Моск. обл.	Светло-бурый просвечивает (в известняках)
4	То же	Забайкалье	Светло-серый, просвечивает (в эффузивах)
5	»	Ахалцих, Груз. ССР	Светло-серый, просвечивает (в эффузивах)
11	Сердолик	Забайкалье	Коричневый, просвечивает
3385	Халцедон	Исландия	Бесцветный, полупрозрачный
34377	»	Зангезур, Арм. ССР	Белый, просвечивает (в эффуз.)
73514б	»	Галутвин, Моск. обл.	Светло-серый, просвечивает (агат в известняках)
29824	Кварцин	р. Волга, Куйбышевская обл.	Кремнистая порода
71955	«	Ступино, Моск. обл.	Молочно-белый (агат в известняках)
73514в	«	Галутвин, Моск. обл.	Молочно-белый (агат в известняках)

Таблица 2

Межплоскостные расстояния и интенсивности рефлексов кварца (обр. 1) и халцедона (обр. 3)

<i>hkl</i>	<i>d</i>	кварца	халцедона	<i>hkl</i>	<i>d</i>	кварца	халцедона
100	4,24	19	11	112	1,81	19	10
101	3,35	100	100	202	1,67	3	2
110	2,45	8	3	103	1,65	1	Нет
102	2,27	6	6	211	1,54	9	3
111	2,23	4	1	113	1,45	1	0,6
200	2,12	6	3	212	1,33	5	Нет
201	1,97	3	2	203	1,37	9	7

более слабым, чем отражение 102 (высота пика 111 меньше половины высоты пика 102). У кварца разница в интенсивностях отражений 111 и 102 обычно меньше (высота пика 111 не меньше, а, как правило, больше половины высоты пика 102).

Следует отметить также различную конфигурацию рефлексов на рентгенограммах кварца и халцедона. Пики на кривых халцедона всегда более широкие и выражены менее четко.

Отмеченные выше различия в соотношении интенсивностей рефлексов 110, 102 и 111 на дифрактограммах кварца и халцедона могут быть использованы для диагностики этих минералов, что бывает необходимо при исследовании микро- и криптокристаллических богатых кремнеземом пород, таких как яшмы, кремни и др. Однако этот метод надежен лишь при условии, что в породе присутствует один из двух минералов; кварц или халцедон. При совместном нахождении этих минералов

дифракционная картина усложняется и не может быть использована для надежной диагностики кварца и халцедона.

Интересные наблюдения получены при исследовании кварцита, являющегося разновидностью халцедона, обладающей положительным удлинением. Были исследованы три образца: два кварцина из агатов (обр. 71955 и 73514) и один из кремнистой породы (обр. 29824) (см. табл. 1). В целом все три образца дали рентгенограммы, отвечающие халцедону. Однако на обеих дифрактограммах кварцина из агатов помимо обычных для халцедона отражений появляются дополнительные несвойственные ему отражения ($d=4,43-4,32 \text{ \AA}$, $3,11-3,07 \text{ \AA}$, $2,88-$

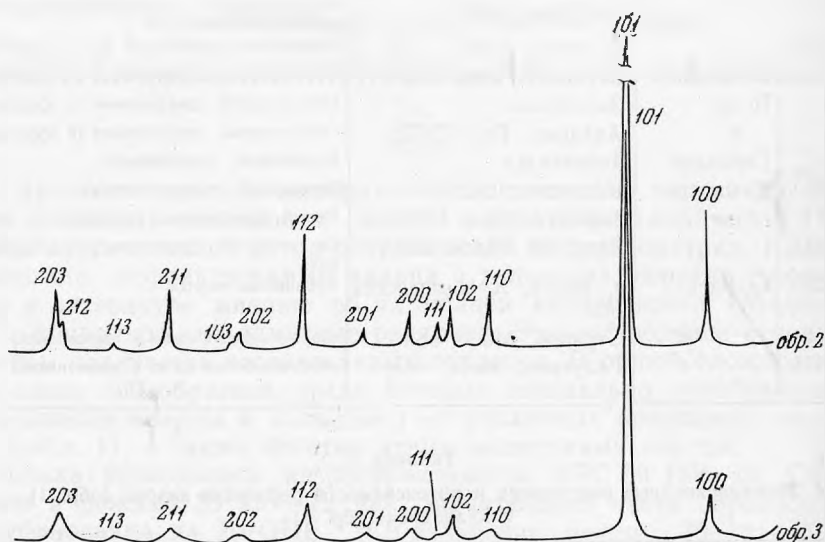


Рис. 1. Дифрактограммы кварца (обр. 1) и халцедона (обр. 3)

$2,86 \text{ \AA}$, $2,42 \text{ \AA}$, $1,725 \text{ \AA}$), хотя, по данным микроскопии и спектрального анализа исследованные образцы не содержат минеральных примесей другого состава. Появление этих максимумов, на наш взгляд, может быть связано с примесью α -кristобалита и α -тридимита.

Так, отражения при $4,43-4,32 \text{ \AA}$ и $1,72 \text{ \AA}$ характерны для α -тридимита, при $3,11-3,07 \text{ \AA}$ для α -кristобалита, а максимумы при $2,88-2,86 \text{ \AA}$ и $2,49 \text{ \AA}$ являются общими для α -тридимита и α -кristобалита. Присутствие α -тридимита в кварцине из агата описываемых месторождений ранее было установлено В. Малеевым методом ИК-спектроскопии (Малеев, 1971). Однако при этом предположении остается неясным отсутствие на рентгенограммах кварцина сильнейших для α -тридимита ($d=4,12 \text{ \AA}$ и $3,73 \text{ \AA}$) и α -кristобалита ($d=4,03 \text{ \AA}$) отражений.

Заслуживает описания образец коричневой яшмы из эффузивов Чехословакии (обр. 75809). Микроскопически первоначально в составе этой яшмы был определен кварцит (см. стр. 232). Однако дифрактограммы образца обнаруживают для отражений 110, 102 и 111 отношение интенсивностей, характерное для кварца. Это кажущееся противоречие следует объяснять образованием параморфозы кварца по кварцину, что не противоречит замеренным у минерала константам ($n_g=1,552$, $n_p=1,543$; одноосный, положительный, но с очень широким крестом), отвечающим кварцу. Таким образом, полученные нами при рентгеновском изучении кварца и халцедона наблюдения в сочетании с данными микроскопии могут быть использованы также для суждения о наличии в исследуемом материале параморфоз (кварца по халцедону или халцедона по кварцу).

Отмеченные выше различия в дифракционных картинах кварца и халцедона, безусловно, указывают на существование различий в их структурах. Ослабление большинства рефлексов вплоть до исчезновения некоторых из них, расширение пиков, характерные для дифрактограмм халцедона, могут свидетельствовать о несовершенстве структуры халцедона по сравнению со структурой кварца.

Таблица 3

Соотношение интенсивностей рефлексов 110, 102 и 111 на дифрактограммах кварца и халцедона

№№ образцов	Отношения интенсивностей	
	110 : 102	102 : 111
Кварц		
1	1,5	1,4
2	1,5	1,9
7	1,1	1,4
9	1,0	1,3
10	1,2	1,6
8	1,2	1,3—1,5
73514а	1,3	1,6
Халцедон		
3	0,5	4,8
4	0,7	4,0
5	0,8	2,4
11	0,8	2,5
3385	0,5	3,6
34377	0,9	2,7
73514б	0,5	3,8

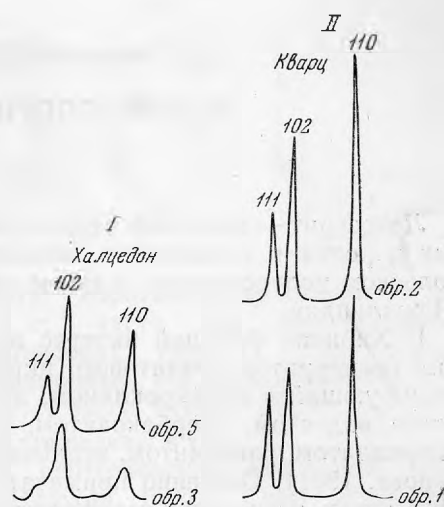


Рис. 2. Интенсивности отражений 110, 102 и 111 у кварца (II) и халцедона (I)

На дефектность кристаллического строения халцедона указывал Пельто (Pelto, 1956). По его мнению, эта дефектность может быть вызвана напряжениями, возникающими на границе волокон халцедона вследствие незначительной разницы в их ориентировке. С дефектностью строения Пельто связывал присутствие в халцедонах воды. Полученные им данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о вхождении этой воды в структуру халцедона ($\text{Si} - \text{OH} + \text{OH} - \text{Si}$).

ЛИТЕРАТУРА

Малеев М. Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. «Наука», 1971.

Pelto C. R. A study of chalcedony.— Am. J. Sci., 1954, 254, N 1.