

М. Д. ДОРФМАН, П. В. САМОРОДОВ, П. В. ОСИПОВ,
Л. В. НИКОЛЬСКАЯ, М. И. САМОЙЛОВИЧ

О ХРИЗОПРАЗЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫКУЛБОЛДЫ

Хризопраз, разновидность халцедона, яблочно-зеленого цвета принадлежит к числу редких и мало изученных минералов, встречаемых на территории СССР. Просвечивающие его разности относятся к ювелирно-поделочным камням. Одиночные находки хризопраза известны на Кемперсайском месторождении силикатного никеля на Южном Урале и на массиве ультраосновных пород Пстан в пустыне Бетпак-Дала (Михайлов, 1962). Более часто он встречается среди массивов Тектурманского габбро-перидотитового пояса (Центральный Казахстан) на Кенеспайе, Уртын-Джале и Аире. Промышленные скопления хризопраза выявлены лишь недавно на месторождении Сарыкулболды, впервые упоминания о котором находятся в работе Х. Д. Косубаева (1962).

Зарубежные месторождения также немногочисленны. Некоторые из них, такие как Шкляры (Судеты, Польша), Ридл (Орегон, США), уже в начале XX века были отработаны полностью. Основное количество хризопраза, поставляемое в настоящее время на мировой рынок для ювелирных изделий, добывается в Австралии на месторождении Марлборо-Крик, детально изученном Бруксом (Brooks, 1965) и Метисоном (Mathison, 1967).

Сарыкулболдинское месторождение хризопраза приурочено к массиву гидротермально измененных ультраосновных пород, в котором метасоматическая зональность (вертикальный разрез) фиксируется чередованием серпентинитов, карбонатных и тальково-лимонитовых пород, биобиритов — образований существенно кремнистого состава.

Хризопразовые жилы и прожилки расположены преимущественно среди бирбиритов (в нижней части разреза) и реже в тальково-лимонитовых породах, где образуют штокверкообразные зоны северо-западного простирания. Жилы и прожилки в этих зонах представляют собой серию сближенных и сложно ветвящихся тел без видимой закономерной ориентировки между собой по простиранию и по падению. В плане они имеют изменчивую мощность и причудливо извилистые очертания.

Протяженность жил не превышает 5—8 м, а мощность изменяется от долей см до 3—7 см и лишь в редких случаях до 20 см. Контакты с вмещающими породами четкие и резкие. Жилы и прожилки имеют сложное внутреннее строение, обусловленное неоднородным минеральным составом и структурно-текстурными особенностями. В строении жил обычно участвует ассоциация минералов кремнезема: халцедон, опал, опало-халцедон, кварц. В общей массе жил эти минералы не образуют четко обособленных образований, а встречаются в виде неправильных

по форме выделений с расплывчатыми очертаниями в плане и нечеткими границами между собой.

В большинстве случаев присутствующие в жилах минеральные разновидности распознаются только при микроскопическом изучении. Исключением является опал, который, благодаря своеобразным структурным особенностям, легко отличим от других минералов этой группы. На рис. 1 показан прожилок хризопраза, зальбанды которого выполнены опалом. Таких зон на контакте может быть одна, две, три и более. Опал встречается и в общей массе жилы, где образует неправильные по форме выделения с расплывчатыми границами и обычно распознается по светло-белой окраске. Наблюдаются жилы и с более сложным строением, в которых от зальбандов к центру прослеживается последовательная смена мономинеральных зон опала, опала-халцедона, кварца, заканчивающихся щелевидными пустотами, стенки которых инкрустированы мелкими (не более 1,5 мм) кристалликами прозрачного кварца.

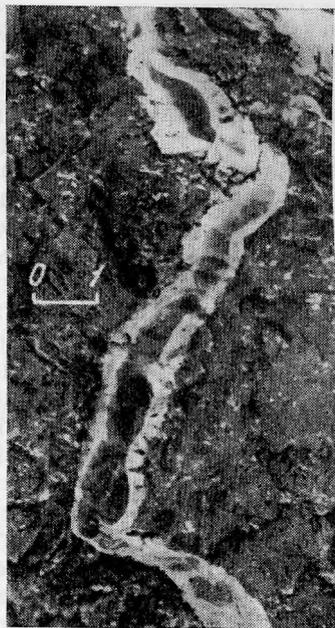


Рис. 1. Прожилок хризопраза в бирбиритах. В зальбандах — опал (светлое)

Особый интерес представляют хризопразовые жилы с ритмически-зональным строением, в образовании которых участвуют халцедон, опало-халцедон и опал. Обычно мономинеральные полосы в них не представляют четко обособленных зон, а имеют постепенные переходы и представляют типичные ритмично-полосчатые текстуры. Динамика и физико-химические условия образования подобных текстур подробно рассмотрены в ряде работ (Васильева, 1971,3, Павлов, Васильева, 1971). Следует отметить, что жилы с ритмически зональным строением на месторождении распространены ограниченно.

В качестве примеси в жилах хризопраза изредка присутствует псиломелан в виде дендритов, а также мелкие обломки пород.

Для исследования хризопразов, халцедона и опалов, с целью выяснения в них природы окраски, структуры и фазового состава, были использованы образцы, отличающиеся друг от друга главным образом по цвету. 1 — Хризопраз густоокрашенный с молочно-белым опалом в зальбанде с бирбиритом, 2 — Хризопраз густо-окрашенный в оторочке фисташково-зеленого маршалита. 3 — Хризопраз светло-окрашенный. 4 — Хризопраз густо-зеленый непрозрачный. 5, 6 — Хризопраз светло-окрашенный подобно обр. 3. 7 — Хризопраз зеленый, участками светло-зеленый, с трещинами усыхания с периферии образца. 8 — Хризопраз непрозрачный светло-зеленый постепенно переходит в почти неокрашенный халцедон. 9 — Опал белый стекловатый. 10 — Опал светло-зеленый. 11 — Халцедон полупрозрачный, белый. 12 — Опал бесцветный, участками водно-прозрачный. 13 — Реликт зеленого хризоправа в фисташково-зеленом сыпучем маршалите. 14 — Маршалит фисташково-зеленый, сыпучий.

Наблюдения под микроскопом

При изучении хризопразов установлено, что среди морфогенетических типов текстур, возникших в процессе заполнения пустот и трещин в жилах хризопраза, наиболее распространенными являются: пятнистая,

крупнокристаллическая, прожилковая, корковая, реже друзовая. Значительное развитие получили также коррозионные текстуры: зональная, каемочная, нитеобразная, петельчатая или сетчатая и разъедания.

Наблюдения под микроскопом позволили установить, что все разновидности хризопраза и халцедона характеризуются структурной неоднородностью. В них отмечается аллотриоморфная, гранобластовая, зубчатая, а также сферолитовая. По форме зерна изометричных или вытянутых очертаний. Размер их колеблется от 0,1 до 0,008 мм. Хорошо просвечивающий и наиболее густо окрашенный хризопраз ювелирного качества обладает равномерным тонкозернистым сложением (размер зерна около 0,008 мм) и практически лишен пор и пустот. Светло-окрашенные разновидности имеют лишь несколько более крупный размер зерен.

Опало-халцедоновая генерация представлена аморфной опаловой массой, в которой развиты изометричные или волокнистые зерна поляризующего халцедона, содержание которых достигает иногда 50—60%.

Опал наблюдается двух типов. Первый образуется на контакте с вмещающими породами и имеет бледно-зеленую окраску. В условиях дневной поверхности он дегидратирует, растрескивается и иногда переходит в гиалофан. Опал второй распространен более ограниченно и встречается внутри жил хризопраза в виде отдельных полос.

Хризопраз нередко подвергается растворению, что приводит, в результате выщелачивания кремнезема, к образованию в нем микропор скелетных и каркасных форм. Преобразование может идти до полной переработки жил в сыпучую светло-зеленую (фисташкового оттенка) сахаровидную массу — маршалит. В маршалите зерна халцедона коротко-удлиненной формы и участками цементируются микроскопически тонким агрегатом позднего кремнезема. В маршалите наблюдаются пленки, глиноподобного иногда поляризующего вещества. В хризопразе эти образования очень тонки и под микроскопом лишь только угадываются.

Оптическая микроскопия

Для наиболее густоокрашенных разновидностей хризопраза были исследованы оптические спектры отражения на спектрофотометре СФ-4 с приставкой диффузионного отражения ПДО-1, в области 200—1100 нм, а в ряде случаев спектры пропускания на двухлучевом спектрофотометре СФ-8 в области 200—2500 нм (рис. 2). При анализе спектров (рис. 2) можно выделить интенсивную полосу поглощения при 25 000 см⁻¹, осложненную дополнительной максимумом при 26 640 см⁻¹, асимметричную полосу в районе 13 000—15 000 см⁻¹, осложненную тремя максимумами (12 820, 13 890 и 15 150 см⁻¹), широкую полосу в районе 10 000 см⁻¹ с максимумами при 8930, 9434 и 9760 см⁻¹, а также слабую полосу при 32 260 см⁻¹. Судя по положению полос и результатам химических анализов (табл. 1), данный спектр обязан ионам Ni²⁺ в октаэдрическом окружении.

Теоретическую схему электронных уровней иона Ni²⁺ в поле октаэдрической симметрии дали Танабе и Сугано (Tanabe, Sugano, 1957). Другими авторами были рассчитаны электронные уровни Ni²⁺ с учетом спин-орбитального взаимодействия. Основным состоянием Ni²⁺ в октаэдрическом поле является триплет ³A_{2g}. Выше по энергии располагаются триплеты ³T_{2g}, ³T_{1g}(F) и ³T_{1g}(P), которые расщепляются в полях низкой симметрии или в результате спин-орбитального взаимодействия. При этом должны наблюдаться три полосы поглощения, соответствующие переходам ³A_{2g} → ³T_{2g}, ³T_{1g}(F) и ³T_{1g}(P). Кроме этого, могут появляться запрещенные по спину переходы триплет-синглет. В табл. 1 приведены максимумы наблюдаемых полос поглощения с указанием соответствующих переходов в предположении октаэдрического окружения Ni²⁺.



Рис. 2. Спектр оптического отражения хризопраза густо окрашенного, прозрачного. Обр. 1а

Хорошее разрешение тонкой структуры спектра позволило с помощью известных данных приписать все полосы возможным электронным переходам, а также найти, что для Ni^{2+} в исходном состоянии константа $D_e = 860 \text{ см}^{-1}$. Полоса при 10870 см^{-1} может быть объяснена электронным переходом ${}^5T_{2g} \rightarrow {}^5E_g$ для ионов Fe^{2+} . Интенсивное поглощение при $\lambda < 2500 \text{ \AA}$, по-видимому, обязано полосе переноса ионов железа.

Таблица 1
Оптическое поглощение никеля в хризопразе

Положение полос поглощения	Предполагаемая идентификация переходов Ni^{2+}	Примечание
8 930 см^{-1} (из спектра пропускания)	$\Gamma_4 ({}^3T_{2g}, t_{2g} 1g)$	Ni^{2+}
9 430	$\Gamma_3 ({}^3T_{2g}, t_{2g} 1g)$	
9 760	$\Gamma_5 ({}^3T_{2g}, t_{2g} 1g)$	
10 870		$Fe^{2+} ({}^5T_{2g} \rightarrow {}^5E_g)$
12 820	${}^1\Gamma_1 ({}^1A_{1g}, t_{2g}^2)$	
13 890	$\Gamma_5 ({}^3T_{1g}, t_{2g} 1g)$	
15 150	$\Gamma_3 ({}^3T_{1g}, t_{2g} 1g)$	
	$\Gamma_4 ({}^3T_{1g}, t_{2g} 1g)$	
	$\Gamma_1 ({}^3T_{1g}, t_{2g} 1g)$	
25 000	$\Gamma_1 ({}^3T_{1g}, t_{2g}^2), \Gamma_4 ({}^3\Gamma_{1g}, t_{2g}^2)$	$Fe^{3+} ({}^6A_{1g} \rightarrow {}^4T_{1g} (t_{2g})^3 (1g)^2)$
26 640		
32 260	${}^1\Gamma_3 ({}^2E_g, t_{2g}^2), {}^1\Gamma_5 ({}^1T_{2g}, t_{2g}^2)$	

ИК-спектроскопия

Для 10 образцов хризопраза и двух опалов были сняты ИК-спектры в области $5000-400 \text{ см}^{-1}$. Съемка производилась на спектрофотометре ИК-10 методом таблеток в смеси с КВч. Ниже приводятся описания типичных спектров изученных форм кремнезема.



Рис. 3. ИК-спектр хризопраза густоокрашенного Обр. 1а

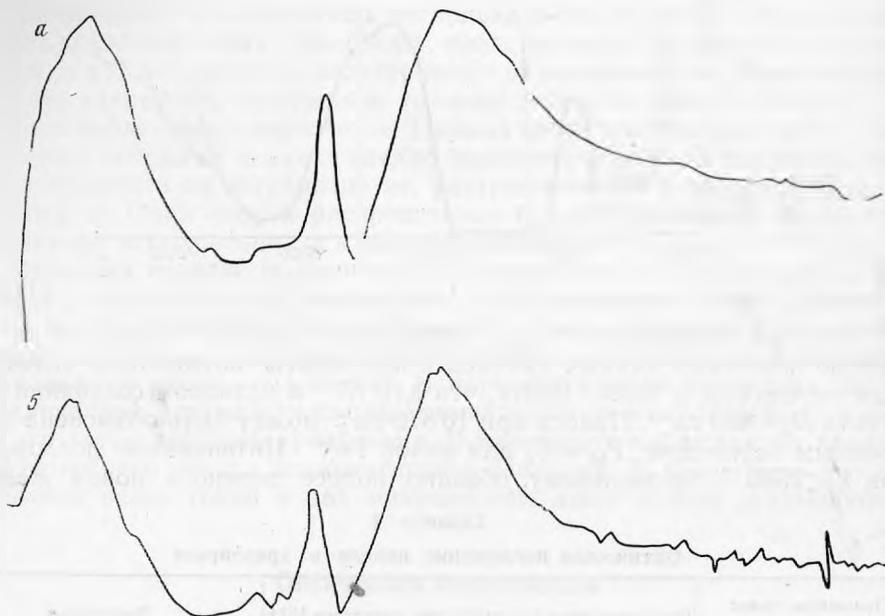


Рис. 4. ИК-спектр опала зеленоватого (а) и молочно-белого (б)

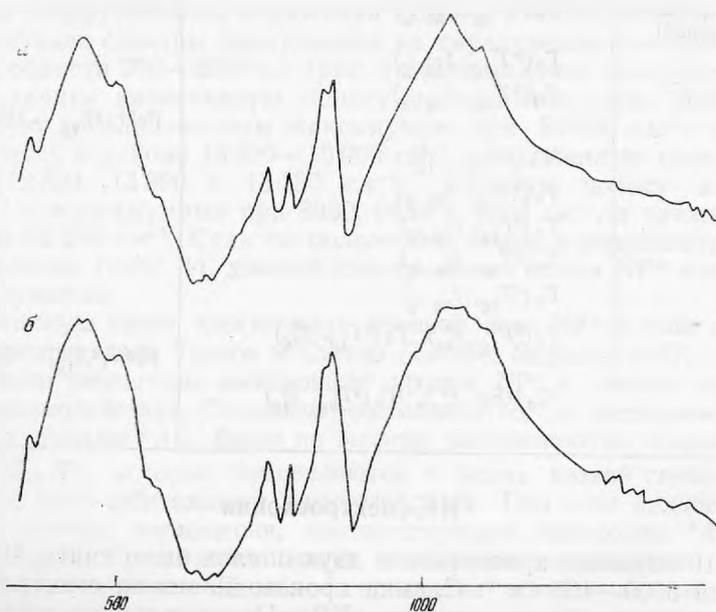


Рис. 5. ИК-спектр зеленого (а) и светло-зеленого непрозрачного хризопраза (б). Обр. 7



Рис. 6. ИК-спектр халцедона полупрозрачного белого. Обр. 11

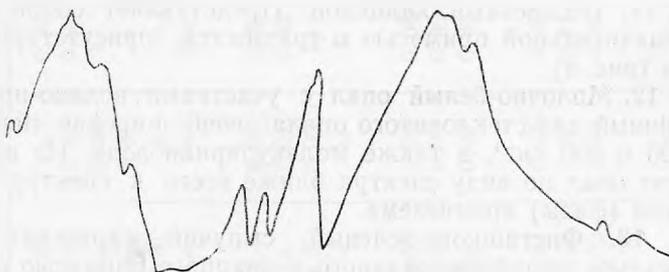


Рис. 7. ИК-спектр маршалита фисташково-зеленого. Обр. 3

Образец 1 (рис. 3). Центральная часть — густо-окрашенный прозрачный хризопраз. Периферическая зона, на границе с вмещающими бирбиритами — опал молочно-белого цвета, небольшие участки которого окрашены в светло-зеленый цвет.

Для спектра ярко-зеленого хризопраза отчетливо выражены все полосы α -кварца (1170, 1095, 800, 785, 690, 510 и 465 см^{-1}) и характерная для α -тридимита полоса при 560 см^{-1} . Кроме того, полоса в области $3700\text{—}3100\text{ см}^{-1}$, обусловленная валентными колебаниями ОН-группы, имеет два максимума при 3600 и 3400 см^{-1} , что свидетельствует о присутствии, помимо молекулярной воды, несвязанных ионов гидроксиллов.

В спектре молочно-белого опала (рис. 4, а) наблюдаются в области основных колебаний широкие расплывчатые полосы в интервале $100\text{—}1200\text{ см}^{-1}$, при 800 и в районе $400\text{—}500\text{ см}^{-1}$. Явное уширение в интервале частот $1200\text{—}1250\text{ см}^{-1}$, перегиб при $625\text{—}630$, а также отсутствие дублета при 800 и почти полное исчезновение полосы при 690 см^{-1} характерно для α -кварца, что свидетельствует о том, что данный образец можно отнести, согласно классификации (Плюснина и др., 1970), скорее к кристобалитовым опалам, чем к стекловатым кварцевым опалам. Кроме этого, в данном образце присутствует молекулярная вода, на что указывают широкая диффузная полоса в районе $3700\text{—}3100\text{ см}^{-1}$ и перегиб в области $1600\text{—}1700\text{ см}^{-1}$.

В спектре зеленоватого опала (рис. 4, б) наблюдаются заметные отличия от спектра молочно-белого опала: исчезают полосы при $625\text{—}630\text{ см}^{-1}$, $1200\text{—}1250\text{ см}^{-1}$, уменьшается интенсивность полосы молекулярной воды. Полоса при 800 см^{-1} разрешается на две компоненты (800 и 792 см^{-1}), яснее выражена полоса при 690 см^{-1} , а также появляется отчетливый перегиб при 560 см^{-1} . Таким образом, спектр зеленоватого опала скорее приближается к спектру халцедона и представляет смесь аморфизированного α -кварца и α -тридимита с незначительным количеством молекулярной воды.

Особенность описанных выше спектров, различных по морфологии и

цвету фаз из одного образца № 1, указывает на то, что густо-зеленый хризопраз претерпел значительно большую степень раскристаллизации, чем зеленоватый опал и тем более чем молочно-белый, т. е. наиболее поздний.

Образец 7. Для него были сняты 2 спектра: для зеленоватого непрозрачного хризопраза (№ 7а) и для более бледной явно скрытокристаллической фазы (№ 7б), находящейся в подчиненном количестве по отношению к зеленой разновидности (рис. 5, а, б). Образец 7а представляет собой типичный спектр α -кварца с небольшой примесью α -тридимита и молекулярной воды. Второй спектр (7б) сходен с первым, т. е. основу его составляет α -кварц, но отмечается большее количество α -тридимита и молекулярной воды, а также небольшая примесь α -кristобалита. Для образцов 1 и 7 были сняты и описаны также спектры оптического отражения.

Образец 11. Бесцветный халцедон. Представляет собой спектр α -кварца со значительной примесью α -тридимита; присутствует молекулярная вода (рис. 6).

Образец 12. Молочно-белый опал с участками водяно-прозрачного. Спектр типичный для стекловатого опала: очень широкие линии в области 1100, 800 и 500 см^{-1} , а также молекулярная вода. Из всех снятых образцов этот опал по виду спектра ближе всего к спектру аморфной разновидности (фазы) кремнезема.

Образец 13. Фисташково-зеленый, сыпучий маршалит (рис. 7). Спектр несколько аморфизированного α -кварца с примесью α -тридимита и молекулярной воды (полосы при 1170, 1100, 805, 780, 690, 520, 460 и 560 см^{-1} соответственно). По-видимому, данная фаза является продуктом позднего процесса выветривания хризопраза.

Обсуждение результатов

Изучение всех разновидностей кремнезема из месторождения Сырыкулболды позволило установить природу окраски хризоплаза.

Приведенные данные по ИК-спектрам хризопразов, а также результаты рентгеновского дифрактометрического анализа показали, что основу хризопразов составляет α -кварц с подчиненным количеством α -тридимита и молекулярной воды. Характерная для хризопраза неоднородность строения подтверждается микроскопическими и электронно-микроскопическими исследованиями.

Полученное по оптической спектроскопии значение D_q 860 см^{-1} близко к значению D_q , имеющемуся в литературе для комплексов $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ ($D_q=850 \text{ см}^{-1}$). Это позволило предположить, что для исследуемых образцов характерно вхождение ионов Ni^{2+} в такое соединение, где они гидратированы и имеют искаженную шестерную координацию. С одной стороны имеющиеся в литературе данные по гидратированным ионам Ni^{2+} , входящим в различные силикаты, подсказывают, что соединением никеля в исходных образцах хризопраза могут быть скорее всего обогащенные Ni минералы из групп слоистых силикатов (для бейделита $D_q=877 \text{ см}^{-1}$, для нонтронита $D_q=909 \text{ см}^{-1}$, для гарниерита $D_q=893 \text{ см}^{-1}$ и т. д.). С другой стороны, полученные рентгенограммы в области углов 2—10 θ (рентгеновский дифрактометр ДРОН-1, $\text{Cu}_{K\alpha}$ излучение), где должны находиться главные линии для большинства глинистых минералов (гарниерита при 9,8 Å, нонтронита — 16,6 Å, сапонита — 15,8 Å, бейделита — 15,1 Å и т. д.) показали, что в указанном интервале находится единственная линия в области 14,7—15,5 Å, интенсивность и положение которой варьируют в зависимости от образца. Поэтому присутствие Ni можно связать с наличием в изученных хризопразах мине-

Таблица 2
Химический состав хризопраза и халцедона

Номер пробы *	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	NIО	CoO	Cr ₂ O ₃	ZnO	CuO	H ₂ O	П. п. п.	Сумма
14	94,52	1,84	1,71	0,03	0,24	0,01	0,22	0,25	0,61	0,03	Сл.	0,01	0,03	—	0,48	99,98
15	96,10	2,37	0,29	0,02	0,11	0,01	0,18	0,06	0,58	0,04	0,01	0,02	0,03	—	0,40	100,22
37	93,50	2,11	1,22	0,10	0,43	0,04	0,20	0,25	0,41	Сл.	0,06	Сл.	Сл.	0,07	0,80	99,82
16	96,53	1,32	0,99	0,02	0,07	0,01	0,27	0,07	0,39	—	0,01	—	0,03	0,02	0,28	100,03
13	96,90	0,45	0,23	—	0,29	0,02	0,22	0,25	0,37	0,01	Сл.	Сл.	0,02	—	0,76	99,52
18	94,60	1,98	1,92	0,03	0,21	0,02	0,15	0,17	0,29	Сл.	Сл.	Сл.	0,02	0,12	0,12	99,63
Среднее									0,44							
8	95,00	1,00	0,07	0,02	0,03	Сл.	0,39	0,25	0,83	Сл.	0,01	0,02	0,09	—	2,00	99,71
7	96,84	1,00	0,07	—	0,03	Сл.	0,23	—	0,68	Сл.	0,01	0,02	0,05	0,04	1,04	100,01
9	97,74	1,03	0,03	0,01	0,01	—	0,11	0,10	0,56	0,01	0,02	Сл.	0,05	—	0,50	100,22
19	93,40	1,84	1,34	0,10	0,13	0,01	0,32	0,17	0,17	—	Сл.	С.	0,07	1,44	1,44	100,43
Среднее									0,55							
6	96,00	1,64	0,05	0,01	0,01	—	0,28	0,15	0,72	0,01	0,01	0,06	0,01	—	1,10	100,05
4	95,86	2,03	0,07	0,02	0,01	Сл.	0,22	0,25	0,54	0,01	0,04	0,05	0,09	0,28	0,94	100,42
5	97,20	1,30	0,04	—	0,01	—	0,12	0,07	0,51	Сл.	0,01	0,02	0,03	0,46	0,68	100,53
Среднее									0,59							
1	94,60	3,49	0,06	0,01	0,02	—	0,28	0,06	0,84	0,02	0,07	0,08	0,07	0,06	0,14	99,80
3	92,70	4,62	0,07	0,10	0,01	—	0,28	0,25	0,80	0,01	0,05	0,24	0,17	0,28	0,74	100,32
2	92,28	4,62	0,03	0,10	0,03	—	0,31	—	0,76	0,02	0,05	0,06	0,23	0,28	0,74	99,56
Среднее									0,80							
12	97,86	0,66	0,17	Сл.	0,01	—	0,17	0,25	0,10	—	Сл.	Сл.	0,01	—	0,60	99,83

* 14, 15, 37 — хризопраз луково-зеленого цвета; 16 — хризопраз яблочно-зеленого цвета; 13 — хризопраз травяно-зеленый; 18 — хризопраз голубовато-зеленый; 7, 8, 9 — слабо измененный хризопраз; 4, 5, 6 — хризопраз измененный; 1—3—хризопраз измененный до сыпучей массы; 12 — светло-серый халцедон. Анализы выполнены в лаборатории экспедиции № 111. Аналитик А. М. Адильханова.

рала из группы монтмориллонита — вермикулита, предположительно Ni-сапонита $(\text{Mg, Ni})_3[(\text{Al, Si})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Но следует отметить известную из литературы (Иванов, 1900) зависимость положения и интенсивности базального рефлекса (001) от количества межпакетной воды в монтмориллоните и других глинистых минералах, что приводит к некоторой неоднородности при интерпретации только по одному отражению. О возможности присутствия силиката Ni типа сапонита указывают также и результаты химического анализа (табл. 2).

На присутствие воды в исходных образцах хризопраза указывает система полос ниже 7000 см^{-1} , наблюдающихся в спектре пропускания (табл. 2) и относящихся, по-видимому, к комбинационным частотам валентных колебаний гидроксила и колебаний решетки.

Изученные образцы опалов по ИК-спектрам заметно отличаются друг от друга. Спектры молочно-белых опалов по виду совпадают со спектрами аморфной формы SiO_2 и могут быть отнесены к типу спекловатых опалов. Кроме этого, встречаются молочно-белые опалы, имеющие спектры, близкие к спектрам кристаболитовых опалов (наличие полосы в районе $1250\text{—}1200 \text{ см}^{-1}$ и неявно выраженной полосы при 625 см^{-1}). Слабо окрашенные в зеленоватый цвет опалы имеют спектр слабо аморфизированного α -кварца с незначительной примесью α -тридимита. Приведенные данные могут быть свидетельством того, что образование встречаемых фаз кремнезема протекало не в один этап.

Первым, наиболее длительным этапом было, по-видимому, образование халцедона, в процессе раскристаллизации захватившего содержащие силикаты. Промежуточная стадия раскристаллизации привела к образованию зеленоватого опала. В завершающую и, по-видимому, наиболее короткую во времени стадию выделился не успевший раскристаллизоваться молочно-белый опал. Не исключено, что различные по морфологии разновидности хризопраза в свою очередь имели несколько стадий жизни.

У фишашково-зеленого маршалита, образующегося в результате изменения хризопраза, наблюдается ИК-спектр α -кварца с примесью α -тридимита. Таким образом, последующие процессы растворения хризопраза, которые привели его к рыхлому состоянию, не изменили состава и структуры исходного минерала.

Именно в этой разновидности кремнезема, где отмечается микроскопически мелкая примесь чужеродного халцедону вещества, содержание никеля увеличивается вдвое.

Выводы

Зеленая окраска хризопраза обусловлена присутствием в нем примеси минерала типа Ni-сапонита.

Наиболее красивый по окраске и хорошо просвечивающий хризопраз обладает равномерной и тонкозернистой структурой и лишен пор и пустот.

Маршалит, образовавшийся в результате последующего изменения хризопраза, не является новой модификацией кремнезема. По структуре и составу он близок хризопразу. В нем несколько аморфизованный α -кварц — главная составная часть, α -тридимит в подчиненном количестве.

Опалы, по данным ИК-спектра, являются конечной стадией раскристаллизации кремнезема: первым образовался зеленоватый, последним — молочно-белый.

ЛИТЕРАТУРА

- Бальхаузен К.* Введение в теорию поля лигандов. «Мир», 1964.
- Васильева А. И.* Динамика формирования ритмических текстур (экспериментальные данные).— Сб. «Физика и физико-химия рудообразующих процессов». Новосибирск, «Наука», 1971₁.
- Васильева А. И.* Явления интерференции диффузионных потоков при образовании ритмических зон в коллоиде (экспериментальные данные).— Сб. «Физика и физико-химия рудообразующих процессов». Новосибирск, «Наука», 1971₂.
- Вахирев Н. П., Мдивнишвили О. М.* Влияние межпакетной воды на интенсивность базального рефлекса (001) в монтмориллоните.— Сб. «Рентгенография минерального сырья», вып. 7, 1970.
- Дэна Дж., Дэна Э. С., Фрондель К.* Система минералогии. т. 3. Минералы кремнезема. «Мир», 1966.
- Костов И.* Минералогия. «Мир», 1971.
- Косубаев Х. Д.* Силикатные никель-кобальтовые месторождения Центрального Казахстана.— Сб. «Материалы по геологии и полезным ископаемым Центрального Казахстана», вып. 2. Госгеолтехиздат, 1962.
- Михайлов Н. П.* Типы и морфология древней коры выветривания на ультраосновных породах Бетпак-Далы.— «Материалы по геологии и полезным ископаемым Алтая и Казахстана». Сб. ВСЕГЕИ, нов. серия, вып. 19, 1956.
- Нюссик Я. М.* Оптические спектры поглощения никельсодержащих минералов.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1969, № 3, 108.
- Павлов А. Л., Васильева А. И.* Физико-химические условия образования ритмических текстур (геологические и расчетно-экспериментальные данные).— Сб. «Физика и физико-химия рудообразующих процессов». Новосибирск, «Наука», 1971.
- Плюснина И. Н., Малеев М. Н., Ефимова Г. А.* Исследование скрытокристаллических разновидностей кремнезема методом ИК-спектроскопии.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1970, 78, № 9.
- Brooks J. H.* Marlborough Creek chrisoprase deposits.— *Gems and Gemol.*, 11, N 11, 1965.
- Jorgensen C. K.* *Acta chem. scand.*, 9, 1955.
- Lehman G., Moore S.* Optical and paramagnetic properties of ion centers in quartz.— *Chem. Phys.*, 44, 1966.
- Mathison I. D.* Notes on the formation and geological setting of chrisoprase in the Marlborough deposits.— *Queensland Govt Mining J.*, 67, N 793, 1967.
- Tanabe, S. Sugano.*— *J. Phys. Soc. Japan*, 12, N 556, 1957.