

А. А. Архангельский

## НЕКОТОРЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА БИРЮЗЫ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Бирюза, почти никогда не образующая отдельные крупные индивиды, как правило, содержит примеси других минералов, что затрудняет исследования ее химического состава и физических свойств. Попытки выявить какие-либо типоморфные свойства, характерные для определенного типа месторождений, за редким исключением [1], не предпринимались. Вместе с тем бирюза является не только сложным и интересным минералом, но и популярным ювелирным камнем.

В настоящее время известно три промышленных типа месторождений бирюзы, а также несколько типов минеральных проявлений [2].

Месторождения кураминского типа приурочены к магматическим породам риолит-дацитовая формации. В настоящей работе образцы данного типа не представлены. Возможно, что к этому типу относятся образцы из Аризоны (П-1а, П-1б) — кабошоны ярко-синего цвета с включениями пирита с плоской стороны и песчолко чешуек голубой бирюзы (П-1в). Однако такая информация не вполне достоверна, и, кроме того, указанные образцы были подвержены облагораживанию — в первом случае процессом «Zachery», во втором — пропиткой.

Месторождения кальмакырского типа — это месторождения, приуроченные к породам порфиновой формации с медно-молибденовой и полиметаллической минерализацией. В нашем распоряжении были образцы из четырех таких месторождений — Кальмакырского (Алмалыкский рудный узел), Тухутского, Эрденет и Маднеули. Алмалыкские образцы, полученные нами, представляли собой зеленые желваки, облагороженные пропиткой на глубину до 2 мм (П-2). Образцы из Тухутского месторождения были двух видов — голубая плотная бирюза (П-9а) из отдельного желвака и салатно-зеленые желваки бирюзы в выветрелой лимонитизированной горной породе (П-9б). Образец бирюзы из Эрденета — пластинка от распиленного желвака весьма необычного оттенка на границе зеленого и синего цветов с включениями кварца и рудных минералов (П-11, П-12), из Маднеули — несколько голубых твердых желваков (П-6) и крошащийся белый кусочек так называемой «меловой бирюзы».

Месторождения в углисто-карбонатно-кварцевых толщах вблизи от интрузий относятся к кызылкумскому типу. В настоящей работе исследовались образцы из двух месторождений данного типа — Аксумбе (Казахстан) и Ауминзы (Россия). Казахские образцы были представлены различными типами по степени выветрелости и цвету, но для микрозондового химического анализа был выбран зеленый минимально выветрелый желвак (П-5). Из образцов бирюзы с месторождения Ауминза были выделены следующие наиболее характерные типы: 1) голубая, в виде тонких прожилков (П-3а), в относительно слабо затронутых выветриванием углеродистых кварцитах; 2) салатно-зеленая, с лимонитом (П-3б); 3) желтовато-коричневая, в максимально выветрелой породе; 4) белая — так называемая «меловая».

Для установления химического состава бирюзы использовался микрозондовый анализ, а для выявления структурных особенностей и диагностики — рентгенофазовый. Структурно-текстурные особенности бирюзы исследовались под электронным микроскопом. В тех случаях, где было возможно, определялась плотность методом гидростатического взвешивания. В ходе исследований были сопоставлены свойства бирюзы из месторождений двух типов — кызылкумского и кальмакырского.

Сравним плотность природной бирюзы ( $\text{г/см}^3$ ) из различных месторождений:

Тип месторождения не известен, образец П-1б .....	2,66
Месторождения кызылкумского типа, образец П-5 .....	2,69

Месторождения кураминского типа:

образец П-6.....	2,60–2,69
образец П-11.....	2,79–2,80

Как следует из этих данных, какой либо зависимости плотности бирюзы от типа месторождений не обнаружено. По-видимому, плотность бирюзы зависит от пористости агрегата, которая может меняться в пределах одного месторождения. Это, естественно, может приводить к большим погрешностям при измерении плотности.

По структурно-текстурным особенностям природные образцы бирюзы можно разделить на «гроздьевидные» и «чешуеобразные».

Для «гроздьевидной» структуры свойственны спускающиеся «лозы» или «гроздь», состоящие из пластинчатых агрегатов бирюзы. Подобную текстуру имеют образцы из месторождений Ирана (кураминский тип) и Техутского месторождения (кальмакырский тип), а самым характерным представителем такого типа текстур является бирюза Маднеули (кураминский тип).

К «чешуеобразному» типу структуры относятся образцы из месторождения Ауминза (кызылкумский тип) и месторождений Непала. Для него свойственны отдельные пластинчатые индивиды, располагающиеся преимущественно в одной плоскости. Самым типичным его представителем является бирюза из месторождения Эрденет (кураминский тип).

Благодаря «гроздьевидному» строению бирюза с Кавказа (в частности, из Маднеули) обладает высокой твердостью и хорошо пропитывается, легко поддаваясь облагораживанию [3]. Для месторождений с бирюзой такого типа характерно широкое развитие «меловой бирюзы». Возможно, что данный тип микроструктуры предрасполагает к развитию при выветривании белесых дисперсных форм бирюзы. Бирюзу из месторождения Алмалык (кураминский тип) можно охарактеризовать как гроздьевидно-чешуйчатую, промежуточную между указанными типами. Причина возникновения бирюзы того или иного типа остается пока неясной, так как преобладание тех или иных типов структур в бирюзе не зависит от типа месторождения.

Для описания химического состава бирюзы приведем 12 оригинальных и 2 опубликованных анализа [1]. В целом наши данные, несмотря на различное происхождение материала, по содержанию минералообразующих элементов аналогичны литературным (таблица). Колебания второстепенных элементов достаточно велики.

Поскольку содержание воды в бирюзе не определялось, то было взято среднее по литературным данным [2] для каждого типа месторождений.

Наиболее характерные примеси в бирюзе — Fe (все исследованные образцы), S, Si, Zn. Наибольшее количество химических примесей обнаружено в образцах бирюзы из месторождений кызылкумского типа. Здесь, помимо уже отмеченных, присутствуют также K, Mg, Ca, Cr, As. Ряд примесей на месторождениях этого типа, скорее всего, связан с вмещающими черносланцевыми породами. Таким образом, можно констатировать, что для месторождений кызылкумского типа, в отличие от кураминского, свойственны примеси K, Mg, Ca, Cr, Ni, As (см. таблицу).

Наибольшие отклонения относительно идеального химического состава в бирюзе из месторождений всех типов отмечаются для концентраций Fe и Si, причем содержание последнего достигает 10% и более, что требует дополнительных исследований и особого обсуждения. Не всегда удается обнаружить отдельные фазы в бирюзе, которыми можно было бы объяснить примесные элементы. В образцах из месторождений кальмакырского типа при помощи микрозондового анализатора были диагностированы следующие включения минералов: в образце эрденетской бирюзы — титанистая фаза, вероятно рутит, а также халькозин и борнит; в образце алмалыкской бирюзы — плагиоклаз, каолинит, кварц, являющиеся, вероятно, реликтами вмещающих пород. В неизмененных же образцах из месторождения Ауминза (кызылкумский тип) не удается диагностировать какие-либо минеральные примеси при помощи микрозондового и рентгенофазового анализов. На основании этого привлекает к себе внимание схема  $P^{4+} \rightarrow Si^{4+}$ , которую предложил В. И. Силаев [2]. Что же касается Fe, то его вхождение в бирюзу имеет скорее изоморфный характер [1]. Это подтверждается и тем, что переход его в форму

Значения коэффициентов в кристаллохимических формулах бирюзы

Компонент	Тип месторождений не известен		Месторождения кызылкумского типа										Месторождения кураминского типа				
	П-1а	П-1б	П-3а	П-3б	Образец					П-6	П-9а	П-9б	П-11	П-12			
					Л-12	Л-13	П-5	П-2	П-12								
Cu	0,88	0,86	0,38	0,77	0,47	0,69	0,68	0,74	0,90	0,88	0,85	0,77	0,86				
Al	5,95	6,00	5,16	6,01	5,84	5,55	6,17	5,63	5,80	5,72	5,50	6,13	6,05				
P	3,97	3,98	2,53	3,62	3,65	3,69	3,90	3,98	3,99	3,87	3,98	3,98	3,98				
Fe	0,18	0,10	0,04	0,09	0,35	0,56	0,16	0,46	0,27	0,25	0,63	0,06	0,08				
Zn			0,02	0,06	0,15	0,09	0,00	0,00	0,11				0,11				
Si			1,88	0,047	0,45	0,37		0,09		0,22							
Ca			1,37	0,03	0,02	0,02	0,06			0,06							
As			0,05														
Cr			0,02														
Mg			0,14		0,04	0,04											
Ni			0,04														
K			0,02														
(SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>	0,22	0,14	0,12	0,07	0,06	0,00	0,04	0,19	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00				
(OH) <sup>-</sup>	7,56	8,00	7,76	7,86	7,88	8,00	7,82	7,62	8,00	7,88	8,00	8,00	8,00				
H <sub>2</sub> O	5,33	5,33	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33				

Примечание. Данные по месторождениям Аякши (образец Л-12) и Джаман-Каскыр (образец Л-13) приведены по [1].

механических примесей четко фиксируется изменением цвета. Не установлена точно форма вхождения S. Возможно, что S занимает позицию  $(OH)^-$  в форме  $SO_4^{2-}$ , хотя В. И. Силаев [2] дает другую интерпретацию, предлагая схему изоморфизма  $P^{4+} \rightarrow S^{4+}$ .

В то же время измененные образцы из месторождения Ауминза представляют собой смесь минералов. Так, в зеленой бирюзе по отражениям (в скобках — интенсивность) 2,78(100); 2,68(50); 2,62(40) установлено присутствие франколита. Кроме того, неотчетливые размытые пики проявлены в областях  $2\theta = 10 - 11, 23 - 25^\circ$  (анод кобальтовый). В буром образце из Ауминзы, как более измененном, пики выражены отчетливее, интенсивность их больше. Помимо франколита, который, как и в предыдущем случае, идентифицирован по пикам 2,78(100); 2,68(50); 2,62(40), здесь установлены и другие минеральные фазы. Отражения 4,17; 2,68; 2,43 отвечают присутствию гетита, а нарастание интенсивности в отражении 2,688 обусловлено наложением соответствующих отражений гетита и франколита. С достаточно высокой степенью вероятности по отражениям 10,17 и 4,37 можно констатировать присутствие галлуазита (или иного близкого к нему слоистого алюмосиликата).

К сожалению, не была выяснена природа ряда отражений, которые затруднительно выделить, и их точные значения не всегда возможно определить. Помимо указанных минералов, рентгенофазовый анализ позволил установить присутствие аморфной фазы в буром образце из Ауминзы. В светлом выветрелом образце так называемой «меловой бирюзы» посторонние фазы отсутствуют. Таким образом, «меловая бирюза» является в исследованных образцах бирюзой в дисперсной форме. Вполне вероятно, что аналогичную природу имеют и многие белые включения в бирюзе. Любопытно, что в то же время отражение примесной фазы обнаружено в образце голубовато-зеленой ауминзинской бирюзы. Интерпретация его затруднительна, но по аналогии с другими образцами можно предположить, что это пик галлуазита.

Следовательно, можно констатировать, что для бирюзы из месторождений кызылкумского типа характерны мелкодисперсные включения франколита, лимонита, галлуазита, а для бирюзы из месторождений калмакырского типа — рутила, борнита, халькозина.

В некоторых случаях в геммологической практике приходится определять не только вид материала, его происхождение и наличие облагораживания, но и тип месторождения, чтобы отнести его к конкретному месторождению. Это возможно далеко не во всех случаях, особенно, когда это касается такого сложного минерала, как бирюза. Тем не менее была сделана попытка выявить типоморфные признаки бирюзы, которые могли оказаться бесполезными в практической геммологии.

Цветовые оттенки иногда могут указать на месторождение, хотя какой-либо закономерности не наблюдается. При визуальном наблюдении и при небольших увеличениях возможно обнаружить черные углистые вмещающие породы, которые являются типичным признаком кызылкумского типа месторождений. Включения данных вмещающих пород вместе с бирюзой, частично замещенной другими минералами, придают весьма характерный облик ауминзинским образцам. Диагностика примесных минеральных фаз при помощи рентгенофазового анализа может служить признаком этих образцов и свидетельством их природного происхождения.

В случае отсутствия каких-либо визуальных признаков определение примесей при помощи химического анализа может подтвердить или опровергнуть принадлежность бирюзы к кызылкумскому типу месторождений.

Плотность бирюзы может значительно варьировать в пределах одного месторождения в зависимости от степени ее изменения. В геммологической практике, где приходится иметь дело с образцами ювелирного качества, возможно ее использование как дополнительного косвенного критерия.

## Summary

*Archangelsky A. A.* Some typomorphic turquoise properties and their practical importance.

The well known weathered white turquoise from Madneuli is a monomineral aggregation. Green and brown specimens from Auminza consist of limonite, francolite, turquoise and halloysite. The identification of this mix can be indicative of a turquoise deposit type.

## Литература

1. *Минчинская Т. И.* Бирюза. М., 1989. 2. *Силаев В. И., Яцулова Л. А., Козлов А. В.* Бирюза Уральско-Пайхойского региона // Зап. Всерос. минерал. о-ва. 1995. Ч. 124, № 6. 3. *Соболева Т. В., Сучкова Е. М.* Бирюза Кавказа // Новые идеи в науках о Земле. М., 2001.

Статья поступила в редакцию 29 марта 2002 г.