

2. Спиридонов Э.М., Гриценко Ю.Д., Кулагов Э.А., Серeda Е.В. Эпигенетическая метаморфогенная арсенидная и антимонитовая минерализация Норильского рудного поля, северо-запад Сибирской платформы // Мат-лы. Междунар. симп. по истории минералогии, геммологии, кристаллохимии и классификации минералов. СПбГУ, 2000. С. 106-107.

3. Чесноков Б.В., Котыбаева Н.Н., Бушмакин А.Ф. Эндогенные минералы висмута и никеля Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1975. С. 123-126.

УДК 553.878 (470.5)

И.О. Сокол-Кутыловский, В.В. Григорьев

### ОПАЛЫ ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ГАЙСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДААННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СТРУКТУРА, СОСТАВ И ГЕНЕЗИС) И СОПУТСТВУЮЩИЙ ИМ КОПАПИТ

В основу данной работы положено оригинальное описание опаловой минерализации, обнаруженной в зоне окисления Гайского медноколчеданного месторождения. Каменный материал был собран в течение полевого сезона 2001 года в ходе выполнения тематических работ по формированию эталонных коллекций минералов, горных пород и руд для Комитета природных ресурсов Оренбургской области. Основной целью работы явилось изучение химического состава и структуры огненных опалов Гайского месторождения для дальнейшего представления их в качестве попутного ресурса коллекционно-поделочного сырья.

Гайское медноколчеданное месторождение – самое крупное на Южном Урале. Расположено в Халиловском районе Оренбургской области, в 35 км севернее города Орск. Месторождение открыто в 1950 году при проверке бурением геофизических аномалий, установленных А.П. Первушиной и Д.Ф. Уманцевым.

В геологическом отношении месторождение приурочено к брахиантклинали складке меридионального простиранья, расположенной на южном продолжении Таналыкского поднятия, разделяющего Присакмарскую и Кизило-Уртазымскую синклинальные зоны. Брахиантклираль сложена палеозойскими (силур) породами баймак-бурибаевской свиты, обнажающимися в центре рудного поля и перекрытыми чехлом мезо-кайнозойских пород мощностью до 50 м на всей остальной его площади [5].

По материалам О.В. Трофимова и В.В. Зайкова, зона окисления Гайского месторождения распространена преимущественно в центральной и южной частях месторождения и имеет следующее строение (снизу вверх): *подзона выщелачивания* с горизонтами пиритовых сыпучек, пирит-кварцевых сыпучек, самородной серы и кварцевых сыпучек; *подзона полного окисления* с кварц-железистыми сыпучками в основании и собственно “железной шляпой” ближе к дневной поверхности [5].

Многочисленные вертикальные опаловые жилы мощность до 10 см были найдены в подзоне полного окисления сульфидных руд (горизонты 390-320 м) залежи № 3. Опаловые прожилки развиты по трещинам в каолинитизированных риолитах, имеющих пустоты выщелачивания полевого шпата – так называемые “пеликаниты”. В периферической части прожилков отмечается пропитка основной массы породы опаловым цементом, заполняющим поры и мелкие трещины.

Исследованию были подвергнуты опалы следующих тонов окраски и степени прозрачности:

- молочно-белый, однотонный, непрозрачный со стеклянным блеском;
- светло-кремовый до телесного цвета, неравномерной окраски со стеклянным блеском с прозрачными небольшими участками огненного опала линзовидной формы;
- красно-коричневого цвета, полностью непрозрачный, с матовым блеском;
- опал красного цвета, однотонный, полупрозрачный;
- полупрозрачный опал красного цвета с редкими прослойками, близкими по окраске;
- огненный опал, прозрачный, с перламутровым блеском. Цвет варьирует от светло-красного с коричневым оттенком до янтарно-коричневого;

- опал темно-бордового цвета, просвечивающий в тонких сколах, со струйчатыми и прожилковыми включениями более светлого непрозрачного опала.

Обычно окраска огненного опала (гиацинтово-красная до медово-желтого с "огненным" отблеском) обусловлена примесью коллоидного гидроксида железа [3]. Такие опалы найдены в Казахстане, Мексике, штате Джорджия, на Камчатке и других местах. Известна даже разновидность под названием *яшмовый опал* красно-бурого цвета, содержащая до 40 %  $Fe_2O_3$  [4]. Опалы зоны окисления Гайского месторождения имеют, как видно из приведенной таблицы химического состава, несколько иную природу красной окраски. Действительно, содержание закисного железа в одной пробе бледно-оранжевого непрозрачного опала достигает 1 мас. %. Но интересен тот факт, что с усилением интенсивности окраски до огненной и темно-бордовой содержание  $Fe_2O_3$  практически неизменно (первые десятые доли процента) и соответствует количеству окиси в молочно-белом опале, проанализированном для сравнения. Поэтому объяснять причину огненно-красной окраски опалов Гая только содержанием окислов железа неправильно; такую же окраску может придавать тонкодисперсное золото (с его помощью издревна окрашивают стекла в огненный цвет) и даже органическое вещество. В рамках настоящего исследования более подробная работа по анализу причин окраски опалов не велась, но в дальнейшем предполагается продолжить исследования в данном направлении.

При нагревании все опалы выделяют воду, но ее характер различен: часть воды выделяется при простом высушивании и нагреве до 100 °С (капиллярная). Полная дегидратация наступает при температуре выше 250 °С (пленочная). В ходе исследования опалы Гайского месторождения были подвергнуты двухступенчатому нагреву - до 105 °С и затем до 255 °С, чтобы проследить количество выделяемой воды и определить ее характер. Для пленочной воды, выделяющейся при температуре выше 250 °С, прослеживается прямая зависимость с прозрачностью опалов: содержание воды в полупрозрачных опалах в среднем в 2 раза выше, чем в непрозрачных (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав опалов Гайского месторождения различных типов окраски и степени прозрачности

Характеристика пробы	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O*	H <sub>2</sub> O**
Опал молочно-белый, непрозрачный с перламутровым блеском	96,40	0,005	0,046	0,12	0,05	0,12	0,38	0,055	1,26	1,62
Опал светло-коричневый полупрозрачный со стекляннм блеском	93,67	0,005	0,034	0,084	0,05	0,66	0,38	0,017	1,79	4,24
Бледно-оранжевый непрозрачный опал	94,10	0,005	0,033	0,10	0,05	1,02	0,88	0,15	2,36	2,40
Опал полупрозрачный красного цвета	93,71	0,006	0,030	0,030	0,06	0,25	0,39	0,14	2,10	4,13
Опал полупрозрачный красного цвета	91,00	0,005	0,030	0,051	0,10	0,10	0,38	0,013	1,31	4,62
Огненный почти прозрачный опал	93,13	0,005	0,022	0,065	0,10	0,05	0,40	0,01	1,40	4,77
Опал темно-бордовый непрозрачный	93,20	0,005	0,040	0,050	0,15	0,22	0,33	0,030	2,17	3,63

\* Потери воды при нагреве до 105 °С.

\*\* Потери воды при нагреве до 255 °С.

Содержание слабосвязанной капиллярной воды минимально в белом опале и максимально в бледно-оранжевом. Особых закономерностей в содержании этого типа воды с изменением прозрачности или цвета не выявлено. Анализ общего (суммарного) содержания воды в опалах позволяет сделать следующее заключение: минимальное количество воды установлено в молочно-белом непрозрачном опале (2,88 %). В непрозрачном бледно-оранжевом опале ее содержание значительно выше, чем в полупрозрачных разновидностях опала, где количество воды составляет 5,8-5,9 %. Максимальное количество содержат полупрозрачные и прозрачные опалы, имеющие стекляннй блеск.

Возможный механизм образования опала в коре выветривания кислых эффузивов серноколчеданной залежи может быть рассмотрен на основании экспериментальных исследований, выполненных И.И. Гинзбургом и Е.С. Кабановой относительно растворимости SiO<sub>2</sub> в кислых

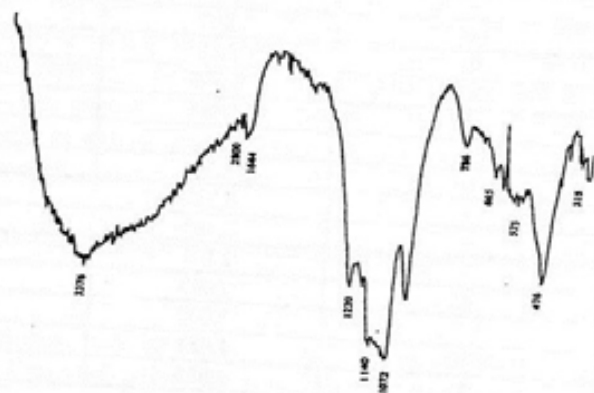
сульфатных водах Карабашского и Блявинского медноколчеданных месторождений [2]. В соответствии с наблюдениями указанных авторов, при высокой концентрации серной кислоты в гипергенных водах растворимость кремнезема резко повышается (до 169 и даже 355 мг/л). Причем отмечается четкая зависимость концентрации кремнекислоты в растворе от кислотности среды (pH). Максимальная концентрация  $H_2SiO_3$ , составляющая 250-355 мг/л, соответствует pH в интервале 1,36-2,1. В водах, имеющих более низкий и более высокий pH, содержание  $SiO_2$  уменьшается на порядок. Так, в пробах, имевших pH около 1,0, содержание  $SiO_2$  составляло 74-78 мг/л, а в пробах с pH от 2,8 до 4,1 содержание  $SiO_2$  соответствовало 61-75 мг/л. Значительное содержание  $SiO_2$  в кислых сульфатных водах зон окисления этих месторождений обусловлено интенсивным разложением силикатов вмещающих пород серной кислотой, возникающей при окислении пирита.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что для образования опала при температуре 100 °C концентрация  $SiO_2$  в растворе должна соответствовать 500 мг/л. При низких температурах, характерных для зоны гипергенеза, пресыщение водного раствора кремнеземом требует в 10 раз меньшего содержания  $SiO_2$ . В нашем случае образование опала, скорее всего, произошло при частичной нейтрализации ультракислых сульфатных вод (уменьшение pH от 1,5 до 2,5), что вызвало существенное уменьшение растворимости кремнезема и выпадение опала. Процесс был достаточно быстрым, поскольку при медленном осаждении из растворов обычно образуется халцедон.

Рентгеновское изучение различных по окраске опалов (выполненное в лаборатории УГГА, дифрактометр ДРОН-2,0, аналитик Сапожникова Н.Г.) показало, что все они состоят из тридимита, лишь иногда с примесью кварца (около 5%). В ныне принятой структурной классификации опалов выделяют кристобалитовые (К-опалы), тридимит-кристобалитовые (ТК-опалы) и аморфные (А-опалы) [3]. Собственно тридимитовых опалов, каковыми являются гайские, в классификации нет. Возможно, имеет смысл после дальнейшего изучения выделить тридимитовые опалы в собственный тип или подтип опалов группы КТ. Также по рентгенограммам прослеживается прямая зависимость степени прозрачности опалов от степени их раскристаллизованности.

В образцах с опалом были встречены многочисленные выделения минерала зеленовато-желтого цвета, который при исследовании оказался копиапитом.

Свое название копиапит получил от города Копьяпо (Чили), вблизи которого он был найден. Является вторичным минералом, образующимся при интенсивном окислении пирита. Форма выделения минерала – корочки, состоящие из кустообразных скелетных кристаллов. Размер сростков  $2 \times 3$  мм. Минерал растворяется в воде, обладает жгучим кисло-горьким вкусом. На ИК-спектре копиапита, снятом в лаборатории ИХФ РАН в п. Черноголовке (спектрофотометр Specord 75 IR, аналитик Чуканов Н.В.), отмечаются следующие полосы поглощения: 575, 665  $cm^{-1}$  (деформационные колебания в тетраэдрах  $[SO_4]^{2-}$ ); 996, 1140, 1220  $cm^{-1}$  (валентные колебания S-O в тетраэдрах  $[SO_4]^{2-}$ ). Интенсивные полосы поглощения с частотой 1644 и 2800  $cm^{-1}$ , а также широкая полоса с частотой 3376  $cm^{-1}$  свидетельствуют о наличии в структуре минерала большого количества молекулярной воды и присутствии незначительных количеств воды в виде гидроксильных группировок (см. рисунок). По данным аналитика, спектр полностью отвечает эталону копиапита. Колебания с частотами 476, 786 и 1072  $cm^{-1}$  обусловлены примесью опала, на который нарастает копиапит.



Инфракрасный спектр копиапита из зоны окисления Гайского медноколчеданного месторождения



Рентгеновское исследование минерала, проведенное в рентгеноструктурной лаборатории УГГГА, показало полное соответствие исследованного минерала эталону копиапита из картотеки ASTM (табл. 2). Поскольку в образцах копиапит нарастает на опал, местами захватывая и цементируя его обломки, то можно говорить лишь о позднем по отношению к опалу времени его образования. Само присутствие минерала в образцах является показателем ультракислой обстановки, имевшей место в процессе формирования зоны окисления Гайского медноколчеданного месторождения, что является подтверждающим фактором предложенной модели образования.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Красная окраска опалов Гайского месторождения в отличие от опалов других месторождений обусловлена не примесью оксидов железа, а имеет иную, пока не выясненную природу.

Таблица 2

Сравнение межплоскостных расстояний копиапита из зоны окисления Гайского медноколчеданного месторождения с эталонными данными

Копиапит Гайского месторождения		Копиапит из картотеки ASTM		
d, Å	l	d, Å	l	hkl
18.1	80	18.4	90	010
13.1	25	-	-	-
9.21	60	9.20	100	020
7.08	30	7.13	5	001
6.81	35	6.82	10	011
-	-	6.51	5	ni
6.16	50	6.17	70	110
5.54	70	5.58	80	101
5.32	50	5.32	30	111
4.67	60	4.68	30	121
4.47	70	4.48	20	040
4.31	65	4.31	20	121
4.20	75	4.20	30	131,111
4.00	80	4.01	30	131
3.90	75	3.88	10	131
3.77	70	-	-	-
3.56	100	3.58	50	141,050
3.48	95	3.50	50	200,102
3.44	80	3.45	10	201,220
3.34	70	3.36	5	221,210
3.29	70	3.29	5	122
3.21	65	3.22	10	122
-	-	3.14	5	231
3.04	70	3.04	5	151,132
2.96	65	-	-	-
2.92	60	2.92	10	042,160
-	-	2.77	5	211,212
2.83	65	2.83	5	230,202
-	-	2.73	5	222,250
2.66	60	2.67	10	222,052
2.62	50	2.62	5	221,142
2.50	50	2,508	5	-
-	-	2,485	5	-
2.42	50	-	-	-
2.36	50	2,36	10	-
-	-	2,289	5	-
-	-	2,165	5	-
-	-	2,101	5	-
2.06	45	2,063	20	-
-	-	2,009	5	-
1.986	40	1,984	5	-
1.824	45	1,825	5	-

2. На степень прозрачности опалов напрямую влияет содержание пленочной воды, выделяющейся при температуре выше 200 °С, и не влияет капиллярная слабо связанная вода.

3. По структурным характеристикам гайские опалы относятся к особому чистому тридимитовому типу, пока не выделяемому в принятой международной классификации.

4. По цветовой гамме и прозрачности опалы Гайского месторождения близки к огненным опалам месторождений Казахстана и Мексики и могут в перспективе попутно обрабатываться на месторождении как ювелирно-поделочный материал.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герман-Русакова Л.Д. Миграция элементов в зоне окисления Блявинского медноколчеданного месторождения на Южном Урале // Труды Института геологии рудных месторождений АН СССР, вып. 68. 1962. 128 с.

2. Гинзбург И.И., Кабанова Е.С. Содержание кремнезема в природных водах и формы его присутствия // Кора выветривания. Вып. 3. 1960. С. 313-342.

3. Денискина Н.Д., Калинин Д.В., Казанцева Л.К. Благородные опалы, их синтез и генезис в природе. Новосибирск: Наука, 1980. 64 с.

4. Минералы: Справочник. М.: Наука, т. 2, 1965. 343 с.

5. Трофимов О.В., Зайков В.В. Зона окисления Гайского медноколчеданного месторождения. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 1992. 62 с.

УДК 549.621.78:553.676

П.В. Свергунов

#### ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИБРИЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА С ЕГО ФРАКЦИОННЫМ СОСТАВОМ

Многочисленные электронно-микроскопические исследования хризотил-асбеста дают однозначный ответ на вопрос о структуре этого минерала – элементарные волокна (фибриллы) представляют собой трубочки, имеющие протяженность во много раз более своего наружного диаметра. По различным источникам диаметр фибрилл составляет 100-650 Å, а диаметр внутреннего канала изменяется от 20 до 300 Å.

На Баженовском месторождении И.М. Лашневым и З.В. Лашневой проведены обширные исследования размеров и морфологии элементарных волокон хризотил-асбеста из разных зон асбестоносности и природных типов руд. Был исследован асбест из зон отороченных жил, сложных отороченных жил, крупной и мелкой сетки, мелкопрожила и продольноволокнистого асбеста. Также был изучен асбест с пониженными технологическими свойствами: ломкий, аподунитовые и аповерлитовые разновидности.

С промышленной точки зрения, конечно, наибольший интерес представляют разновидности асбеста из гарцбургитов и апогарцбургитовых серпентинитов, но и другие, имеющие пониженные технологические показатели, оказывают влияние на процесс обогащения. Количественная и морфологическая характеристика фибрилл хризотил-асбеста, по всей видимости, оказывает существенное влияние на фракционный состав волокна в процессе его механической обработки.

Описание строения и размеров фибрилл хризотил-асбеста Баженовского месторождения, приведенное ниже, позволяет выявить взаимосвязи элементарной структуры минерала и тип асбестоносности, представляющей данное волокно.

#### Нормальный поперечноволокнистый хризотил-асбест

1. Зона мелкой сетки.

Подавляющее большинство элементарных частиц представляют собой трубки, имеющие размеры до 5 микрон в длину. Средний внешний диаметр фибрилл составляет 275 Å, толщина стенки 110 Å, диаметр внутреннего канала 80 Å. Элементарные частицы различны по внешнему диаметру