

В. В. Зайков^{1,2}, В. А. Котляров¹, Р. В. Кужугет³, А. М. Юминов^{2,1}

¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

² – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе
zaykov@mineralogy.ru

³ – Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,
г. Кызыл

Иодидная минерализация в родингитах древнего рудника Воровская Яма, Южный Урал

Иодиды встречаются только в гипергенных условиях, в первую очередь, в зоне окисления сульфидных, медноколчеданных, полиметаллических и серебросодержащих месторождений в регионах с аридным климатом. На данный момент известно две модификации AgI: иодаргирит AgI (гекс.) и майерсит (Ag,Cu)I (куб.) [Пеков и др., 2010]. Майерсит с маршитом (CuI) образует твердые растворы кубических иодидов прерывистого ряда маршит (Mar)–майерсит (Mie). В минералах ряда Mar–Mie Рубцовского месторождения на Алтае достоверно зафиксирован ряд составов от $\text{Mar}_{100}\text{Mie}_{0.00}$ до $\text{Mar}_{0.00}\text{Mie}_{100}$ с разрывом смесимости в интервалах $(\text{Mar}_{82.5}\text{Mie}_{17.5})$ – $(\text{Mar}_{0.57}\text{Mie}_{0.43})$ и $(\text{Mar}_{0.29}\text{Mie}_{0.71})$ – $(\text{Mar}_{0.18}\text{Mie}_{0.82})$. Из иодидов более распространен только иодаргирит, остальные иодиды встречаются крайне редко. В последние годы находки иодидов во многих рудных объектах увеличиваются с каждым годом. В окисленных рудах Хаак-Саирского золото-кварцевого малосульфидного месторождения (Республика Тыва) среди лиственитов выявлена галогенидная минерализация: иодиды (иодаргирит, Вг-содержащий иодаргирит, Вг-, Cl-содержащий иодаргирит), минералы ряда маршит–майерсит, мошелит, хлориды серебра (разновидности хлораргирита – Вг-содержащий, Вг-, I-содержащий) и бромиды (разновидности бромаргирита – I-содержащий, I-, Cl-содержащий и Cl-, I-содержащий) [Кужугет, 2014]. При изучении минералогии древнего рудника Воровская Яма на Южном Урале в родингитах нами была также выявлена иодидная минерализация, характеристика которой является целью статьи.

Медный рудник бронзового века Воровская Яма был открыт в процессе георазведочных исследований [Зайков и др., 2000]. Археологический памятник располагается в одной из тектонических пластин, сложенных гипербазитами, на границе Западно-Магнитогорской и Восточно-Магнитогорской палеоостроводужных зон. Поиск и изучение иодидов проведены с помощью электронного микроскопа (с пределами обнаружения содержаний элементов-примесей – 0.01 мас. %) РЭММА 202М в Институте минералогии УрО РАН.

Древний рудник находится в холмистой местности на левобережье р. Зингейка. Название выемки, в которой прятали украденный скот, и которая оказалась древним карьером, дали местные жители. Древний карьер имеет диаметр 30–40 м и глубину 3–5 м, первичная глубина была, по данным георадарной съемки, 6–7 м [Зайков и др., 2014]. Карьер окружен прерывистым отвалом шириной 5–15 м и высотой 0.8–1.5 м. Наиболее полный разрез состоит из трех горизонтов, разделенных слоями погребенных почв. Нижний горизонт мощностью 5–10 см сложен зеленовато-желтыми нонtronитовыми глинами с редкой дресвой медных руд. Средний горизонт состоит из песчано-глинистой массы, обогащенной дресвой и плитчатыми обломками выветренных базальтов и серпентинитов, а также обломками, пропитанными малахитом.

Слой имеет линзовидную форму и мощность 70 см. Верхний горизонт состоит из нескольких эшелонированных тел различного цвета и состава. В слоях, обогащенных нонтронитовой глиной, имеются обломки медных руд.

На дне карьера канавами и шурфами вскрыта линза медьсодержащих пород мощностью до 3–8 и длиной 25 м. Ее верхняя часть представлена корой выветривания с обломками родингитов и жилами малахита и азурита, далее идет элювиальная часть рудного тела мощностью 2–4 м. Родингиты представлены массивными мелко- и среднекристаллическими пироксен-гранатовыми породами. Гранат (андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$) содержит (мас. %): CaO 32.44–32.99; FeO 29.44–31.97; MgO 0.19–0.37; MnO 0.54–0.70; SiO_2 34.06–35.60; Al_2O_3 0.24–0.85. Пироксен промежуточного состава ряда диопсид-геденбергит содержит (мас. %): CaO 23.97–24.78; Na_2O 0.00–0.27; MgO 9.63–10.58; FeO 10.41–11.20; MnO 1.97–2.94; SiO_2 50.96–51.86; Al_2O_3 0.01–0.32. Состав отвечает формуле $(\text{Ca}_{0.99-1.01}\text{Na}_{0.00-0.02})_{0.99-1.01}(\text{Mg}_{0.56-0.60}\text{Fe}_{0.33-0.36}\text{Mn}_{0.06-0.10})_{0.99-1.01}(\text{Si}_{1.96-2.00}\text{Al}_{0.00-0.02})_{0.97-2.00}\text{O}_6$.

Содержание меди в минерализованных породах находится в пределах 3–5 %. Согласно произведенным расчетам из добытой рудной массы (около 5000 т) при содержании меди 3 % и коэффициенте извлечения 10 % могло быть получено приблизительно 70 т меди. Медное оруденение представлено комплексом вторичных минералов зоны гипергенеза. Малахит образует тонкие жилки и желваки размером до 4 см и скопления земляных масс. Зафиксированы концентрически-зональные радиально-лучистые почковидные агрегаты в сростании с кристаллами азурита размером до 2–3 мм. В шлиховом материале шурфов обнаружены единичные зерна куприта темно-красного цвета. Ранние сульфиды представлены халькопиритом, халькозином, Fe-сфалеритом, кубанитом и пирротинном неправильных и удлинённых форм (до 40 мкм) в андрадите. Медное оруденение связано с поздней сульфидной минерализацией с минералами серебра (акантитом, маккинстриитом), которая вместе с ранними сульфидными в коре выветривания подверглась окислению. По данным атомно-адсорбционного анализа, содержания Au и Ag в родингитах составляет 0.2–0.5 и 5–19 г/т, соответственно.

Иодид серебра в виде небольших зерен и агрегатов различной морфологии до 50 мкм залечивает поздние трещины в гранате и пироксене или цементирует их катаклазированные обломки (рис.). Часто зерна иодида серебра сложной морфологии отмечаются в малахите. В прожилках иодидная минерализация ассоциирует с малахитом, азуритом, акантитом, маккинстриитом и ртутистым серебром. В некоторых выделениях акантита отмечается содержание I до 5.33 мас. %, Br до 2.38 мас. %, в ртутистом серебре – Br до 1.30 мас. %. Следы брома и иода в некоторых участках ртутистого серебра и акантита можно трактовать как начало процесса гипергенной галогенизации серебра. Аналогичная картина описана в зоне окисления золотоколчеданно-полиметаллического месторождения Балта-Тау на Южном Урале [Зайков и др., 2003]. Химический состав иодида серебра (мас. %): Ag 43.50–47.83; I 51.43–56.50 (табл.).

Из-за малых размеров иодидов серебра не удалось провести рентгеновские анализы. Предполагается, что в родингитах медного проявления Воровская Яма развита гексагональная (иодаргирит) модификация AgI, т. к. иодаргирит в отличие от майерсита тяготеет к верхним горизонтам коры выветривания рудных месторождений. Это обусловлено, по-видимому, огромной разницей в растворимости – AgI (8.3×10^{-17}) и CuI (1×10^{-12}).

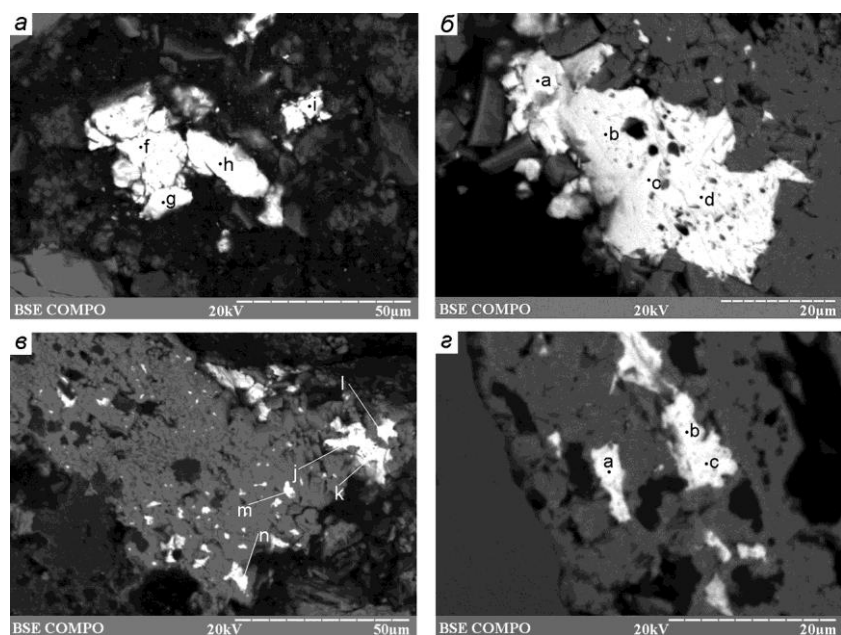


Рис. Зерна иодида серебра в окисленных родингитах древнего рудника Воровская Яма. Номера зерен: а) 507-В-1; б) 507-В-2; в) 507-В-3,4,5; г) 507-Е-1,2. Точки анализов на рисунках соответствуют таблице. Изображения в обратно-рассеянных электронах (РЭММА-202 М, аналитик В. А. Котляров).

Т а б л и ц а

Химический состав иодида серебра (мас. %)

№ п/п	№ зерна	№ анализа	Ag	I	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	507-В-1	21361f	45.64	53.96	99.60	$Ag_{1.00}I_{1.00}$
2		21361g	46.28	52.94	99.22	$Ag_{1.03}I_{1.00}$
3		21361h	46.40	53.58	99.98	$Ag_{1.02}I_{1.00}$
4		21361i	46.33	53.33	99.66	$Ag_{1.02}I_{1.00}$
5	507-В-2	21361a	46.55	53.20	99.75	$Ag_{1.03}I_{1.00}$
6		21361b	46.88	52.25	99.14	$Ag_{1.06}I_{1.00}$
7		21361c	46.76	53.07	99.82	$Ag_{1.04}I_{1.00}$
8		21361d	47.83	51.43	99.26	$Ag_{1.09}I_{1.00}$
9	507-В-3	21359j	45.50	54.19	99.69	$Ag_{0.99}I_{1.00}$
10		21359l	46.33	53.37	99.70	$Ag_{1.02}I_{1.00}$
11	507-В-4	21359m	45.47	54.06	99.53	$Ag_{0.99}I_{1.00}$
12	507-В-5	21359n	44.39	55.10	99.49	$Ag_{0.95}I_{1.00}$
13	507-Е-1	21362a	47.27	52.53	99.81	$Ag_{1.06}I_{1.00}$
14	507-Е-2	21362b	43.50	56.50	100.00	$Ag_{0.91}I_{1.00}$
15		21362c	46.75	52.91	99.66	$Ag_{1.04}I_{1.00}$

Пр и м е ч а н и е . Формулы рассчитаны на 1 атом иода.

Среди включений в малахите были выявлены мелкие неидентифицированные фазы следующего состава (мас. %): Ag 44.39–49.64; Hg 13.02–16.95; Cu 10.19–13.94; I 14.35–15.63; Br 3.81–5.78; Fe 1.35–1.46; S 2.67–2.82.

По имеющимся данным, на Южном Урале наиболее контрастные и значительные по масштабу ореолы иода проявляются в коре выветривания палеогенового и неогенового возраста [Читаева и др., 1971]. Имеются указания о наличии бромидов в зоне окисления золото-колчеданно-полиметаллического месторождения Балта-Тау [Зайков и др., 2003]. Приуроченность иодидов на медном проявлении Воровская Яма к коре выветривания можно рассматривать как результат их формирования в результате гипергенеза. Иодидная минерализация встречается в поздних трещинах, цементирует катаклазированные зерна граната и пироксена в ассоциации с малахитом, азури-том, акантитом и бромсодержащими минералами.

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки РФ (госзадание № 33.264.2014), междисциплинарного проекта УрО РАН.

Литература

Зайков В. В., Белогуб Е. В., Котляров В. А. Галогениды серебра и самородное золото из зоны окисления месторождения Балта-Тау (Южный Урал) // Минералогия Урала–2003. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 16–20.

Зайков В. В., Зданович Г. Б., Юминов А. М. Воровская Яма – новый рудник бронзового века // Археологический источник и моделирование древних технологий. Челябинск: Аркаим, Институт истории и археологии УрО РАН, 2000. С. 112–130.

Зайков В. В., Юминов А. М., Зданович Г. Б., Носкевич В. В. Древние рудники в гипербазитах Южного Урала (на примере археологического памятника Воровская Яма // Геоархеология и археологическая минералогия–2014. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. С. 103–107.

Кужугет Р. В. Иодидная и бромидная минерализация в окисленных рудах Хаак-Саирского золоторудного месторождения, Западная Тува // Записки РМО. 2014. № 2. Т. 143. С. 64–80.

Пеков И. В., Лыкова И. С., Брызгалов И. А. и др. Уникально богатая иодидная минерализация в зоне окисления Рубцовского полиметаллического месторождения (Северо-Западный Алтай, Россия) // Записки РМО. 2010. № 6. Т. 139. С. 1–21.

Читаева Н. А., Миллер А. Д., Гроссе Ю. И., Чистякова Н. И. Особенности распределения иода в зоне гипергенеза Гайского медноколчеданного месторождения // Геохимия. 1971. № 6. С. 696–709.