

УДК 553.411:549.324.31

МИНЕРАЛОГИЯ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА Р. ЗАСЛОНКА (ГОРНАЯ ШОРИЯ)

Пшеничкин Анатолий Яковлевич¹,
paya@tpu.ru

Гаврилов Роман Юрьевич¹,
GavrilovRY@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы вызвана необходимостью восполнения минерально-сырьевой базы золота на основе комплексной информации, полученной за последнее время с использованием современной аналитической базы.

Цель: изучение минералогического состава проб россыпного месторождения р. Заслонки (Горная Шория).

Методы: минералогические исследования, кристалломорфология, рентгеноспектральный анализ, сканирующая электронная микроскопия.

Объект: пробы шлихов россыпного месторождения золота реки Заслонки (Горная Шория).

Результаты. Проведено изучение минералогического состава, в том числе морфологии золотин, проб чёрных шлихов на бинокулярном микроскопе МБС-10 и стереомикроскопе OLYMPUS SZX10, и шлаков после плавки золота при получении сплава доре на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N. Сделаны микрофотографии разных типов золотин и других минералов. В результате исследований установлено, что подавляющее большинство золотин относятся к очень мелкому (68,71 %), а также к мелкому (14,69 %) и тонкому (12,47 %) классу крупности. Шлихи золота, после обогащения на флотационном столе, слаборадиоактивны за счёт, по-видимому, тонкой вкрапленности Th-U-содержащих минералов, что подтверждается изучением на электронном микроскопе шлаков после плавки золота при получении сплава доре, где установлены ураноторит, циркон и золото в виде зернистых сферул. Существует, по-видимому, три источника поступления золота в россыпь: 1) золото в «рубашке», покрытое тёмно-серыми, почти чёрными плотными плёнками, которое является более ранним золотом и имеющим, вероятно, более дальний источник сноса; 2) золото средней степени окатанности – уплотнённое и комковидное золотисто-, тускло-жёлтого и серебристо-жёлтого цвета, источниками образования которого являлись среднетемпературные и средне удалённые кварцевые жилы района; 3) неокатанное золотисто-жёлтое золото, сформированное из близлежащих кварцевых слабо золотосных жил. Бедный минералогический состав шлихов (и почти отсутствие окисленных минералов сульфидов, кроме пирита) говорит о наличии кварцевых малосульфидных среднетемпературных жил с низким содержанием мелкого золота в коренных рудах.

Ключевые слова:

россыпное золото, минералогия, кристалломорфология, элементы-примеси, Горная Шория.

Введение

Золотодобыча в Горной Шории, административно относящейся к южной части Кемеровской области [1–3] (рис. 1), ведётся с первой половины XIX в. как из россыпных [4, 5], так и из коренных [6–10] месторождений.

Изучением геологического строения и полезных ископаемых, в том числе золотосности Горной Шории, в разное время занимались Л.В. Алабин, А.Я. Булытников, А.М. Зайцев, Ю.А. Калинин, Ф.П. Охотников, Н.А. Росляков, Н.В. Рослякова, Ю.А. Щербаков и др.

Первые находки золота на территории Кемеровской области датируются первой половиной XIX в., когда по рекам Фёдоровка и Ортон были открыты богатые россыпи золота и начались разработки россыпей в Горной Шории [11]. В последующие годы в разработку были вовлечены и коренные месторождения золота [6–13]. Однако в Горной Шории доля добытого рудного золота составляет около 1 %, а основной вклад в добычу золота приходится на россыпные месторождения. Это, с одной стороны, свидетельствует о потенциале региона по открытию новых коренных объектов золота, а с другой – об актуальности изучения россыпных месторождений – основного

разрабатываемого типа оруденения региона. Поэтому изучению россыпных месторождений уделяется большое внимание как в России, так и за рубежом [12–26].

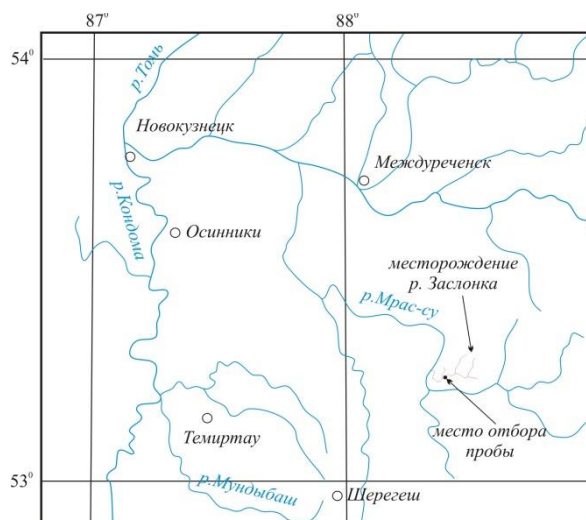


Рис. 1. Схема расположения россыпного месторождения золота реки Заслонка

Fig. 1. Scheme of the location of the alluvial gold deposit of the Zaslodka river

В бассейне р. Заслонки, являющейся правым притоком р. Мрассу, разрабатывались россыпи как по самой реке, так и её притокам: Плоскому, Екатериновке, Пихтовке, Сухому Логу. За период эксплуатации с 1886 по 1953 гг. по этим россыпям добыто 906 кг золота при среднем содержании в них металла $0,78 \text{ г/м}^3$ [11, 27, 28]. Сведений о минералогическом составе россыпи и о последующем периоде золотодобычи по р. Заслонке, в открытой печати, не известно. В этой связи полученные нами результаты исследований позволят дополнить представление о строении и минеральном составе россыпного месторождения Заслонка и дадут возможность прогнозировать ко- ренные источники золота [29], а также по-новому подойти к технологии обогащения рудного пласта.

Геологическое строение участка работ

По результатам поисково-разведочных работ и других исследований [11] общая длина долины р. Заслонки достигает 30 км (рис. 1). Высота близлежащих гор не превышает 800 м. Местами долина реки заболочена. Россыпь залегает в контакте известняков и гранодиоритов. Известняки мраморизованы, графитизированы, иногда импрегнированы сульфидами, в основном пиритом.

Правобережные притоки р. Заслонки (Екатериновка, Плоская, Сухой Лог и др.), протекающие по известнякам, золотоносны, левобережные, проходящие по гранодиоритам, не золотоносны. Здесь слабо золотоносны лишь небольшие ключики, вероятно, за счет перемыва россыпей террас.

В нижнем течении р. Заслонки участок сложен красноцветными породами девона, в верхнем – эффузивно-сланцевой толщей кембрия.

Разрез рыхлых аллювиальных отложений россыпи представлен (сверху вниз): серыми глинами с редкой галькой и щебёнкой (1,3 м); слабо отсортированным галечником (до 15...20 см) с песками, прослойками глины, с дресвой и, нередко, с линзами и прослоями до 0,5...0,7 м синевато-зеленой очень вязкой глины (мощность слоя до 3 м и более). Пески (2...2,5 м) трудно промываемые и представлены 2 или 3 золотоносными горизонтами, мощностью 0,7...0,8 м, с прослоями грязно-серых глин.

Плотик имеет ровную поверхность и представлен выветрелыми гранодиоритами или мраморизованными известняками. Карманы, выступы и западения встречаются лишь на участках с мраморизованными известняками. Золото в россыпи очень мелкое и концентрируется в основном вблизи плотика и в западинах. Золото однородное, тонкопластинчатое, желтоватой окраски. Содержание золота колеблется в пределах $0,25...11,85 \text{ г/м}^3$, среднее – $2,5 \text{ г/м}^3$. Проба золота 907. За время эксплуатации россыпи самородки встречались редко.

Методика исследования

Проведено изучение минералогического состава чёрных шлихов [29] и шлаков после плавки золота при получении сплава доре.

Минералогический состав шлихов анализировался под бинокулярным микроскопом МБС-10 и стерео-

микроскопом OLYMPUS SZX10 с краткостью увеличения $0,63^\times - 6,3^\times$, zoom 10,0:1. Полированные шлифы из шлаков изучались на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энерго-дисперсионным спектрометром Bruker X@Flash 5010 для рентгено-спектрального анализа (оператор – доцент отделения геологии ТПУ С.С. Ильенко). Определение показателей преломления минералов производилось на поляризационном микроскопе OLYMPUS BX51.

Результаты исследования и их обсуждение

Золото. Как видно из таблицы, подавляющее большинство золотин относятся к очень мелкому золоту (68,71 %), а также к мелкому (14,69 %) и тонкому (12,47 %) классу. Это требует тщательного контроля опробования пульпы при работе промприбора, чтобы исключить потери тонкого золота при промывке.

Таблица. Крупность золота по данным минералогического анализа

Table. Gold size according to mineralogical analysis

Класс крупности золота Gold grade	Размер золотин, мм Size of gold pieces, mm	Количество золотин Number of gold pieces	Содержание золота по классам крупности, % Gold content by grade, %
крупное/large	>2,0...4,0	8	0,80
среднее average	>1,0...2,0	29	2,92
мелкое/petty	>0,25...1,0	146	14,69
очень мелкое very small	>0,1...0,25	683	68,71
тонкое/thin	>0,05...0,1	124	12,47
тонкодисперсное finely dispersed	0,01...0,05	4	0,41
Сумма/Sum		994	100

В пробах преобладают золотины средней окатанности и в незначительном количестве неокатанные (рис. 2–5).

Среди окатанных золотин выделяется несколько разновидностей.

1. Золотины уплощенной, лепешковидной, таблитчатой и пластинчатой форм; очертания краев сглажены, у отдельных золотин края загнуты (рис. 2, а). Цвет золота золотисто-желтый, тускло-желтый, поверхность золотин шагреновая, у единичных в неровностях поверхности наблюдаются гидроокислы железа.
2. Плотные комковидные, угловато-комковидные золотины золотисто-, серебристо-желтого цвета, иногда покрытые небольшим количеством гидроокислов железа (рис. 2, б). Возможно, образованы за счет плохо огранённых кристалликов золота и их сростков. Встречаются единичные сростки комковидных и пластинчатых золотин.
3. Золото неправильного морфологического типа представлено плотными комковидными золотинами и их субпараллельными сростками, иногда слабо уплощенными, или интерстициальными, угловато-комковидными частицами. Цвет тускло-, серебристо-, золотисто-желтый (рис. 3).

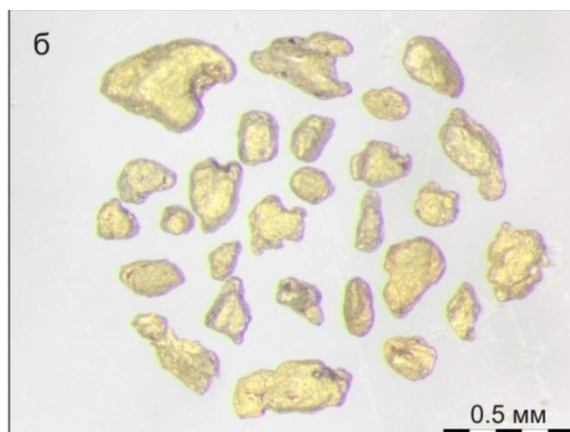
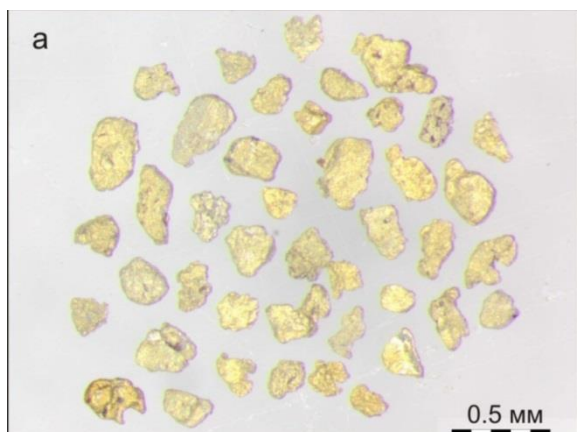


Рис. 2. В различной степени уплощенные (а) и комковидные (б) золотины золотисто-жёлтого и серебристо-жёлтого цвета

Fig. 2. Flattened (a) and lumpy (b) golden-yellow and silvery-yellow gold pieces to varying degrees

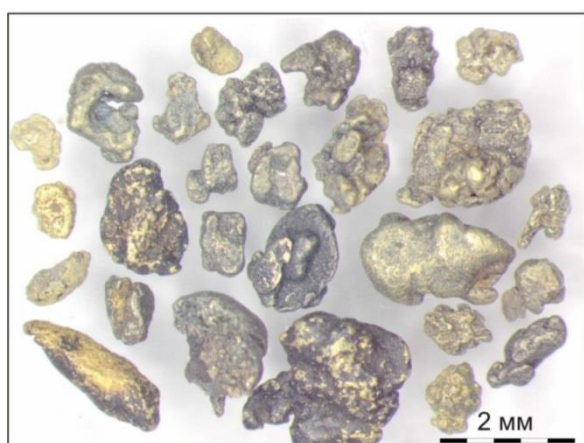


Рис. 3. Плотные комковидные золотины и их субпараллельные сростки

Fig. 3. Dense lumpy gold grains and their subparallel intergrowths

4. Крупные комковидные золотины и их сростки тускло-желтого, серебристо-желтого цвета, име-

ющие сглаженные очертания и шагреновую мелкобугристую поверхность (рис. 3).

5. Золото в «рубашке» (рис. 4). Форма золотинок пластинчатая, таблитчатая и комковидная. Некоторые золотины представляют собой сростки двух и более таблитчатых частиц. Цвет золота тускло-желтый, серовато-желтый, золотисто-желтый, поверхность шагреновая, на поверхности присутствует налёт – корочка плотного тёмно-серого до черного цвета, предположительно, гидроокислов железа или марганца. А по данным Л.К. Яхонтовой и А.П. Груднёва [30] «рубашка» золотинок – это селеносодержащий (1...2 % селена) гипергенный сульфид золота – петровскит $Au(Se)S_2$. Минерал образует тончайшие микроскопические плотные плёнки на поверхности золотинок в экзогенных условиях. Его окраска тёмно-серая до чёрной, блеск металлический. Характерна высокая хрупкость минерала. Образование петровскита свидетельствует о важной роли тиосульфидных компонентов золота и серебра в растворах зоны гипергенеза.

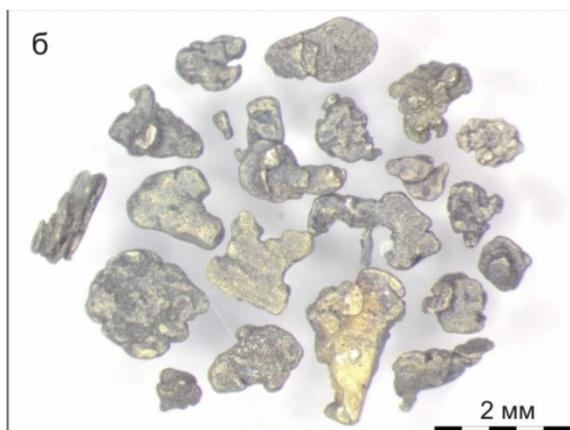


Рис. 4. Золото в «рубашке» (а, б): уплощённые окатанные золотины, покрытые корочкой тёмно-серого цвета – петровскит (?)

Fig. 4. Gold in a «jacket» (a, б): flattened rounded gold pieces covered with a dark gray crust – petrovskite (?)

Золото неокатанное или слабо окатанное золотисто-жёлтого цвета, размером от 0,1 до 1...1,5 мм, встречается редко (рис. 5).

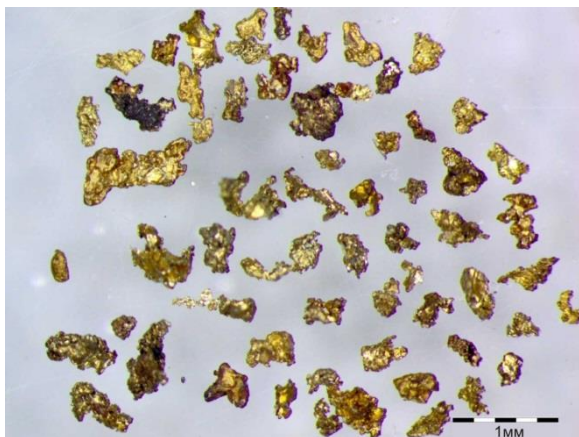


Рис. 5. Золото неокатанное золотисто-жёлтого цвета
Fig. 5. Golden yellow not rounded gold

Форма золотинок разнообразна и является следствием отпечатков минералов (в основном кварца) или заполнения интерстиций между минералами и представлена в виде неправильной формы выделений с зазубренными, крючковидными краями, дендритовидными, палочковидными, комковидными, в единичных случаях встречаются кристаллоподобные образования, близкие к кубам. Иногда встречаются золотинокки в сростках с кварцем или галенитом. Нередко золотинокки покрыты окислами железа. Неокатан-

ность золотинок говорит о близости источника сноса золота.

Методом ИСП-масс-спектрометрии была проанализирована пульпа с промприбора, где выявлены следующие элементы (в мг/т): Pt (10), Pd (23), Au (2,2), Ag (38), а также Th (4,76 г/т) и U (1,76 г/т).

Кроме того, установлено, что обогащённый шлик золота после флотационного стола слабо радиоактивен, в связи с чем дополнительно проведено изучение шлака после плавки обогащённого шлика россыпного золота. Изучение полированных шлифов шлака производилось в Центре «Урановая геология» ТПУ на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N (аналитик С.С. Ильенко). В результате проведённых исследований установлено: в шлаках постоянно встречается золото в виде зернистых сферул размером до 100...600 мкм (рис. 6) или реже – в виде натёчных агрегатов; почти во всех выявленных частицах золота обнаруживается серебро (6...15%), которое распределяется по частице неравномерно. Иногда встречается диоксид свинца, заполняющий пространство между зёрнами золота. Золотые сферулы оконтуриваются или лёллингитом, или оксидом железа, или сложной фазой Pb-Sn-W-Th-U-Zr-Ti-O. Из других минералов в шлаках установлены циркон, рутил, бадделейт, ураноторит (рис. 7), шеелит, альбит, кварц. При переплавке шлаков в них золото не обнаружено.

Минералогическим анализом в шликах выявлены галенит, ильменит, магнетит, касситерит, циркон, кварц, карбонаты и другие породообразующие минералы (рис. 8).

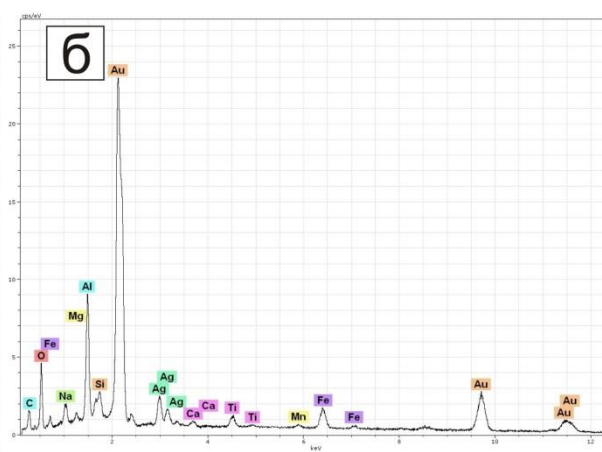
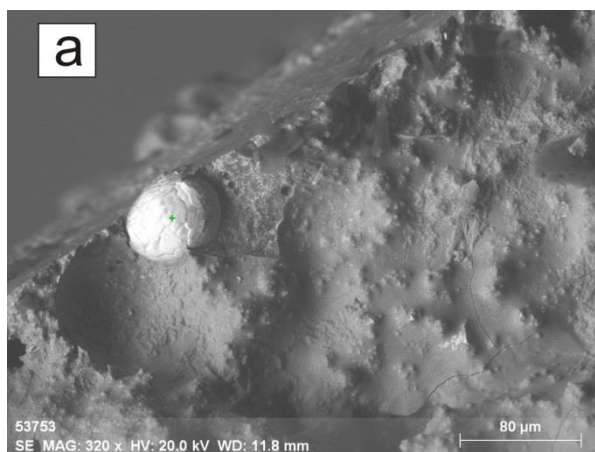


Рис. 6. Снимок в обратно-рассеянных электронах (а) и энерго-дисперсионный спектр (б) сферул золота в шлаке после плавки обогащённого на флотостоле шлика

Fig. 6. Back-scattered electron image (a) and energy-dispersive spectrum (b) of gold spherules in slag after melting concentrate enriched on the flotation table

Галенит в незначительных количествах присутствует в виде кубических обломков-выколов по спайности размером 0,2...2,2 мм свинцово-серого цвета. Зёрна неокатаны, хорошо видна спайность по кубу (100) (рис. 8, а).

Псевдоморфозы лимонита по пириту встречаются довольно часто в виде хорошо образованных кубических кристаллов или в комбинации куба и средней развитости грани пентагондодекаэдра – (100)+(210)

размером 0,5...2,0 мм тёмно-бурого до чёрного цвета (рис. 8, б). Ребра кристаллов четкие, не сглажены. Грани (100) ровные, и на них не обнаружена взаимно перпендикулярная комбинационная или послонная штриховка роста. Нередко в изломе кристаллов наблюдается не окисленный пирит.

Ильменит встречается в виде единичных обломков и кристаллов таблитчатой формы черного цвета, размер зерен 0,1...2,2 мм. Слабо магнитен.

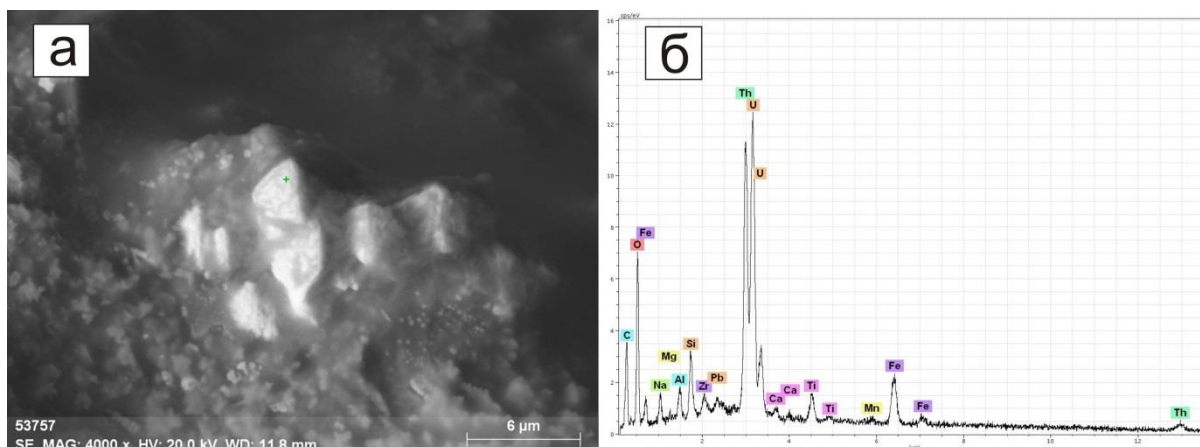


Рис. 7. Снимок в обратно-рассеянных электронах (а) и энерго-дисперсионный спектр (б) U-Th-содержащего минерала (ураноторит?) в шлаке после плавки обогащённого на флотостоле шлиха золота

Fig. 7. Back-scattered electron image (a) and energy-dispersive spectrum (б) of a U-Th-bearing mineral (uranothorite?) in slag after melting gold concentrate enriched on the flotation table

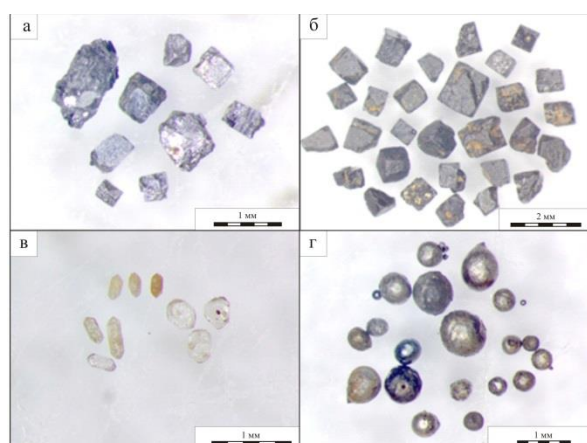


Рис. 8. Минералы шлихов россыпи реки Заслонки: галенит (а), псевдоморфозы лимонита по пириту (б), циркон (в), магнитные шарики (г)

Fig. 8. Minerals of schlichs of the Zaslanka river placer: galena (a), pseudomorphs of limonite after pyrite (б), zircon (в), magnetic balls (г)

Магнетит установлен в значительном количестве и представлен в виде зёрен, обломков кристаллов средней окатанности размером 0,1...1,5 мм. Цвет минерала чёрный, блеск металлический, слабо матовый за счёт незначительного окисления, сильно магнитный. Нередко встречаются хорошо образованные кристаллы в форме октаэдров (111). Иногда на октаэдрических кристаллах встречается слабо развитая грань ромбододекаэдра (110) – (111)+(110).

Касситерит встречается в виде окатанных зёрен и обломков призматических, короткопризматических кристаллов, где диагностируются грани призмы (100) и пирамиды (111). Размер зёрен 0,5...2,5 мм. Цвет минерала бледно-желтый, красно-бурый, бурый, серый с сильным алмазным блеском, в тонких осколках в проходящем свете наблюдаются высокие цвета интерференции.

Циркон присутствует в довольно большом количестве в виде хорошо образованных призматических бесцветных и бледно-желтых кристаллов, иногда с

мелкими чёрными включениями других минералов (рис. 8, в). При наличии включений магнетита проявляет магнитные свойства. Кристаллы образованы хорошо развитыми гранями тетрагональных призм (100) и (110) и тетрагональной дипирамиды (111). Размер кристаллов 0,1...0,25 мм, коэффициент удлинения (Ку) равен 1,5...2,0.

Из других минералов постоянно присутствует кварц в виде слабо окатанных обломков молочно-белого цвета, роговая обманка и актинолит в виде окатанных зёрен буровато-слабо зеленоватого и тёмно-зелёного цвета; единичные зёрна светло-коричневого граната (андрадит), фисташковые средней окатанности зёрна эпидота, серовато-серые таблички со спайностью и перламутровым блеском мусковита, светло-коричневые обломки кристалликов с алмазным блеском сфена.

Часто в пробах отмечают шаровидные образования размером до 0,25 мм трёх видов: карбонатные (вскипают с HCl) шарики серого цвета, шероховатые с очень мелкой вкрапленностью тёмного минерала; сульфидные (пиритовые?) шарики тёмно-серого, слабо латунно-желтого цвета и единичные шарики металлического, серого цвета, блестящие, не окисленные (рис. 8, г) (платина или шарики метеоритного происхождения).

Выводы

1. Существует, по-видимому, три источника поступления золота в россыпь:

- золото в «рубашке», покрытое тёмно-серыми, почти чёрными плотными плёнками (возможно, гипергенного сульфида золота петровскита $Au(Se)S_2$), является более ранним золотом, имеющим, вероятно, более дальний источник сноса;
- золото средней степени окатанности, уплощённое и комковидное золотисто-, тускло-жёлтого и серебристо-жёлтого цвета, источниками образования которого являлись средне-температурные и среднеудалённые кварцевые жилы района;

- неокатанное золотисто-жёлтого цвета золото сформировалось из близлежащих кварцевых слабо золотосных жил. Об этом свидетельствует наличие неокатанных и не окисленных зёрен галенита.
2. Подавляющее большинство золотин относятся к очень мелкому (68,71 %), а также к мелкому (14,69 %) и тонкому (12,47 %) классу крупности. Это требует тщательного контроля опробования пульпы при работе промприбора, чтобы исключить потери тонкого золота при промывке.
 3. Шлихи золота после обогащения на флотационном столе слабо радиоактивны за счёт, по видимому, тонкой вкрапленности Th-U-содержащих минералов, что подтверждается изучением на электронном микроскопе шлаков после плавки золота при получении сплава доре. В шла-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.И., Черных А.И., Вартамян С.С. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Смирновский сборник. – 2018. – С. 10–29.
2. Черных А.И., Иванов А.И., Алексеев Я.В. Развитие минерально-сырьевой базы золота субъектов Российской Федерации в 2005–2018 гг. // Отечественная геология. – 2020. – № 1. – С. 21–28.
3. Благородные металлы Российской Федерации – состояние минерально-сырьевой базы и перспективы её развития / А.И. Иванов, Я.В. Алексеев, А.И. Черных, Е.А. Наумов, Д.А. Куликов, А.С. Тарасов, О.М. Конкина, К.М. Минькин, И.В. Попов // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 3–25.
4. Сараев В.А. Закономерности размещения и некоторые особенности состава золотосных россыпей Горной Шории // Известия Томского политехнического института. – 1968. – Т. 134. – С. 172–178.
5. Сыроватский В.В. Состав и элементы примеси самородного золота Ортоно-Федоровской рудной зоны // Магматизм, литология и вопросы рудоносности Сибири / под ред. В.Г. Корель. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 122–127.
6. Новые данные об источниках питания золотосной россыпи р. Федоровка (Горная Шория) / В.В. Колпаков, П.А. Неволько, В.Ф. Дульцев, П.А. Фоминых // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 4. – С. 12–17.
7. Столбова Н.Ф. Рудная минерализация Лебедской скарновой зоны // Известия Томского политехнического института. – 1971. – Т. 217. – С. 178–183.
8. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СТТ, 2003. – 350 с.
9. Щербаков Ю.Г. Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае. – Новосибирск: Наука, 1974. – 278 с.
10. Щербаков Ю.Г., Рослякова Н.В., Колпаков В.В. Федоровское месторождение золота и перспективы золотосности Южно-Сибирской рудной провинции (Горная Шория) // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 10. – С. 979–992.
11. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. – Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1999. – 237 с.
12. Условия формирования золото-кварцевого оруденения Ортоно-Федоровского рудно-россыпного узла (Горная Шория) / В.В. Колпаков, П.А. Неволько, Ю.А. Калинин, М.В. Кириллов, А.А. Шадрин, Ю.О. Редин, В.Ф. Дульцев // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 1 (21). – С. 103–115.
13. Особенности орогенного золото-кварцевого оруденения Федоровского рудно-россыпного поля (Горная Шория) на примере Лазаретного и Федоровского рудопроявлений / В.В. Колпаков, П.А. Неволько, А.А. Редина, Ю.О. Редин // Геосферные исследования. – 2022. – № 2. – С. 23–46.
14. как установлены: ураноторит, циркон и золото в виде зернистых сферул размером до 100...600 мкм. При повторной плавке шлаков золото в них не обнаружено.
4. Бедный минералогический состав шлихов (и почти отсутствие окисленных минералов сульфидов, кроме пирита) говорит о наличии кварцевых малосульфидных среднетемпературных жил с низким содержанием мелкого золота в коренных рудах.
5. При дальнейших исследованиях в районе россыпи реки Заслонки необходимо установить генезис повышенного содержания палладия (23 мг/т), платины (10 мг/т), тория (4,76 г/т) и урана (1,76 г/т), выявленных при опробовании пульпы с промприбора и в шлаках после плавки шихта золота.
14. Hallbauer D.K., Utter T. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand // Mineral Deposita. – 1977. – V. 12 (3) – P. 293–306.
15. Youngson J.H., Craw D. Variation in placer style, gold morphology, and gold particle behavior down gravel bed-load rivers: an example from the Shotover/Arrow-Kawarau-Clutha River system, Otago, New Zealand // Economic Geology. – 1999. – V. 94. – № 5. – P. 615–634.
16. Stefanova V., Veselin K., Goritza S. Morphology and chemistry of gold of the Borov Dol ore occurrence, the Buchim region, Republic of Macedonia // Rev Bulgar Geol Soc. – 2004. – V. 65 (1–3). – P. 125–132.
17. Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi Valley, Southern India / M. Nakagawa, M. Santosh, C.G. Nambiar, C. Matsubara // Gondwana Research. – 2005. – V. 8. – № 2. – P. 213–222.
18. Chapman R.J., Mortensen J.K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure // Journal of Geochemical Exploration. – 2006. – V. 91 (1–3). – P. 1–26.
19. Геохимические особенности самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов / Л.А. Николаева, А.Н. Некрасова, С.А. Миляев, С.В. Яблокова, А.М. Гаврилов // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55. – № 3. – С. 203–213.
20. Geophysical survey of deep alluvial gold in terms of bolotisty deposit / I.Yu. Rasskazov, N.G. Shkabarnya, V.S. Litvintsev, G.N. Shkabarnya // Eurasian Mining. – 2017. – V. 2. – P. 3–7.
21. Geostatistical and GIS analysis of the spatial variability of alluvial gold content in Ngoura-Colomines area, Eastern Cameroon: implications for the exploration of primary gold deposit / J.D. Takodjou Wambo, S. Ganno, Y.S. Djonthu Lahe, G.D. Kouankap Nono, D.H. Fossi, M.S. Tchouatcha, J.P. Nzenti // Journal of African Earth Sciences. – 2018. – V. 142. – P. 138–157.
22. Small-scale surface mining of gold placers: Detection, mapping, and temporal analysis through the use of free satellite imagery / E. Ibrahim, L. Lema, P. Barnabé, P. Lacroix, E. Pirard // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2020. – V. 93. – 102194.
23. Characterisation of alluvial gold exploration data to improve gold recovery in Ghana / G. Foli, K. Agyemang, B.A. Brako, S.K.Y. Gawu, P.M. Nude // Arabian Journal of Geosciences. – 2020. – V. 13. – № 20. – 1105.
24. Exploration methodology using morphology and alloy composition of alluvial gold: a case study from Quaternary deposits of the Nowshera District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan / L. Ali, R. Chapman, M. Farhan, M.T. Shah, S.A. Khattak, A. Ali // Mining, Metallurgy and Exploration. – 2021. – V. 38. – № 1. – P. 367–377.
25. Nikiforova Z. Criteria for determining the genesis of placers and their different sources based on the morphological features of placer gold // Minerals. – 2021. – V. 4. – P. 1–23.

26. Morphology and composition of alluvial gold from the Meiganga area, northern Cameroon: implications for provenance / E.G.T. Ngouabe, A. Vishiti, M.T. Nforba, R. Rossouw, J. Etame, C.E. Suh // J. Sediment. Environ. – 2022. – V. 7. – P. 671–689.
27. Перспективы коренной золотоносности юга Сибирской платформы по результатам изучения морфо-геохимических особенностей шлихового золота / И.В. Четвертаков, А.В. Иванов, Е.А. Михеева, Т.А. Чикишева, Т.Ю. Якич // Отечественная геология. – 2021. – № 1. – С. 97–114.
28. Шадрин С.В. Геохимические индикаторы золотого оруденения Ортон-Фёдоровского рудного узла (Горная Шория): автореферат дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 2000. – 23 с.
29. Пшеничкин А.Я. Кристалломорфология пирита и её использование в практике поисково-разведочных работ на золото // Геология и геофизика. – 1989. – № 11. – С. 65–75.
30. Яхонтова Л.К., Груднев А.П. Минералогия окисленных руд. Справочное пособие. – М.: Недра, 1987. – С. 96–97.

Дата поступления: 02.05.2023 г.

Дата рецензирования: 04.05.2023 г.

Информация об авторах

Пшеничкин А.Я., кандидат геолого-минералогических наук, инженер отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Гаврилов Р.Ю., кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 553.411:549.324.31

MINERALOGY OF THE ALLOWER GOLD DEPOSIT OF THE RIVER ZASLONKA (GORNAYA SHORIIA)

Anatoliy Ya. Pshenichkin¹,
paya@tpu.ru

Roman Yu. Gavrilov¹,
GavrilovRY@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the work is caused by the need to replenish the mineral resource base of gold on the basis of comprehensive information obtained recently using a modern analytical base.

Purpose: to study the mineralogical composition of samples of the placer deposit of the river Zaslanka (Gornaya Shoria).

Methods: mineralogical studies, crystal morphology, X-ray spectral analysis, scanning electron microscopy.

Object: samples of concentrates from the alluvial gold deposit of the Zaslanka river (Gornaya Shoria).

Results. The authors carried out the study of the mineralogical composition, including the morphology of gold particles, samples of black concentrates on the MBS-10 binocular microscope and OLYMPUS SZX10 stereomicroscope, and slags after gold melting during the preparation of doré alloy on a Hitachi S-3400N scanning electron microscope. Photomicrographs of various types of gold particles and other minerals were taken. As a result of the research, it was found that the vast majority of gold particles belong to very small (68,71 %), as well as to small (14,69 %) and thin (12,47 %) size classes. Gold concentrates, after enrichment on a flotation table, are weakly radioactive due, apparently, to a thin dissemination of Th-U-containing minerals, which is confirmed by the study of slags on an electron microscope after melting gold during the production of doré alloy, where uranohorite, zircon and gold are found in the form of granular spherules. There are, apparently, three sources of gold entering the placer: 1) gold in the «shirt», covered with dark gray, almost black dense films, which is older gold and probably has a more distant source of drift; 2) gold of medium degree of roundness – flattened and lumpy golden-, dull-yellow and silvery-yellow in color, the sources of formation of which were medium-temperature and medium-distant quartz veins of the area; 3) unrounded golden-yellow gold, formed from nearby quartz weakly gold-bearing veins. The poor mineralogical composition of concentrates (and the almost absence of oxidized sulfide minerals, except for pyrite) indicates the presence of low-sulfide medium-temperature quartz veins with a low content of fine gold in primary ores.

Key words:

alluvial gold, mineralogy, crystal morphology, impurity elements, Gornaya Shoria.

REFERENCES

- Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya mineralno-syrzevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status and prospects for the development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. *Smirnovsky collection*, 2018, pp. 10–29.
- Chernykh A.I., Ivanov A.I., Alekseev Ya.V. Development of the mineral resource base of gold in the constituent entities of the Russian Federation in 2005–2018. *Otechestvennaya geologiya*, 2020, no. 1, pp. 21–28. In Rus.
- Ivanov A.I., Alekseev Ya.V., Chernykh A.I., Naumov E.A., Kulikov D.A., Tarasov A.S., Konkina O.M., Minkin K.M., Popov I.V. Precious metals of the Russian Federation – the state of the mineral resource base and the prospects for its development. *Otechestvennaya geologiya*, 2022, no. 1, pp. 3–25. In Rus.
- Saraev V.A. Patterns of placement and some features of the composition of gold-bearing placers of Gornaya Shoriya. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*, 1968, vol. 134, pp. 172–178. In Rus.
- Syrovatskiy V.V. Sostav i elementy primesi samorodnogo zolota Ortono-Fedorovskoy rudnoy zony [Composition and impurity elements of native gold of the Ortono-Fedorovskaya ore zone]. *Magmatizm, litologiya i voprosy rudonosnosti Sibiri* [Magmatism, lithology and problems of ore potential in Siberia]. Ed. by V.G. Corel. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 122–127.
- Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Dultsev V.F., Fominykh P.A. New data on the sources of nutrition of the gold-bearing placer of the river. Fedorovka (Gornaya Shoria). *Exploring and protection resources*, 2016, no. 4, pp. 12–17. In Rus.
- Stolbova N.F. Ore mineralization of the Lebedskaya skarn zone. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*, 1971, vol. 217, pp. 178–183. In Rus.
- Gusev A.I. *Metallogeniya zolota Gornogo Altaya i yuzhnoy chasti Gornoy Shorii* [Metallogeny of gold in Gorny Altai and the southern part of Gornaya Shoria]. Tomsk, STT Publ., 2003. 350 p.
- Shcherbakov Yu.G. *Geokhimiya zolotorudnykh mestorozhdeniy v Kuznetskom Alatau i Gornom Altai* [Geochemistry of gold deposits in Kuznetsk Alatau and Gorny Altai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. 278 p.
- Shcherbakov Yu.G., Roslyakova N.V., Kolpakov V.V. Fedorovskoye gold deposit and gold-bearing potential of the South-Siberian ore province (Mountain Shoria). *Russian Geology and Geophysics*, 2003, no. 44 (3), pp. 939–953.
- Alabin L.V., Kalinin Yu.A. *Metallogeniya zolota Kuznetskogo Alatau* [Metallogeny of gold in the Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, SO RAN, NITs OIGGM Publ., 1999. 237 p.
- Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Kalinin Yu.A., Kirillov M.V., Shadrina A.A., Redin Yu.O., Dultsev V.F. Conditions for the formation of gold-quartz mineralization of the Orton-Fedorovskiy ore-placer cluster (Gornaya Shoria). *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2015, no. 1 (21), pp. 103–115. In Rus.
- Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Redina A.A., Redin Yu.O. Features of orogenic gold-quartz mineralization of the Fedorovskiy ore-placer field (Gornaya Shoria) on the example of the Lazaretnoe and Fedorovskiy ore occurrences. *Geospheric Research*, 2022, no. 2, pp. 23–46. In Rus.
- Hallbauer D.K., Utter T. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand. *Mineral Deposita*, 1977, vol. 12 (3), pp. 293–306.
- Youngson J.H., Craw D. Variation in placer style, gold morphology, and gold particle behavior down gravel bed-load rivers: an example from the Shotover/Arrow-Kawarau-Clutha River system, Otago, New Zealand. *Economic Geology*, 1999, vol. 94, no. 5, pp. 615–634.

16. Stefanova V., Veselin K., Goritz S. Morphology and chemistry of gold of the Borov Dol ore occurrence, the Buchim region, Republic of Macedonia. *Rev Bulgar Geol Soc*, 2004. vol. 65 (1–3), pp. 125–132.
17. Nakagawa M., Santosh M., Nambiar C.G., Matsubara C. Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi Valley, Southern India. *Gondwana Research*, 2005, vol. 8, no. 2, pp. 213–222.
18. Chapman R.J., Mortensen J.K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006, vol. 91 (1–3), pp. 1–26.
19. Nikolaeva L.A., Nekrasova A.N., Milyaev S.A., Yablokova S.V., Gavrilov A.M. Geochemistry of native gold from Deposits of various types. *Geology of Ore Deposits*, 2013, no. 55 (3), pp. 176–184.
20. Rasskazov I.Yu., Shkabarnya N.G., Litvintsev V.S., Shkabarnya G.N. Geophysical survey of deep alluvial gold in terms of bolotisty deposit. *Eurasian Mining*, 2017, vol. 2, pp. 3–7.
21. Takodjou Wambo J.D., Ganno S., Djonthu Lahe Y.S., Kouankap Nono G.D., Fossi D.H., Tchouatcha M.S., Nzenti J.P. Geostatistical and GIS analysis of the spatial variability of alluvial gold content in Ngoura-Colomines area, Eastern Cameroon: implications for the exploration of primary gold deposit. *Journal of African Earth Sciences*, 2018, vol. 142, pp. 138–157.
22. Ibrahim E., Lema L., Barnabé P., Lacroix P., Pirard E. Small-scale surface mining of gold placers: Detection, mapping, and temporal analysis through the use of free satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, vol. 93, 102194.
23. Foli G., Agyemang K., Brako B.A., Gawu S.K.Y., Nude P.M. Characterisation of alluvial gold exploration data to improve gold recovery in Ghana. *Arabian Journal of Geosciences*, 2020, vol. 13, no. 20, 1105.
24. Ali L., Chapman R., Farhan M., Shah M.T., Khattak S.A., Ali A. Exploration methodology using morphology and alloy composition of alluvial gold: a case study from Quaternary Deposits of the Nowshera District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 2021, vol. 38, no. 1, pp. 367–377.
25. Nikiforova Z. Criteria for determining the genesis of placers and their different sources based on the morphological features of placer gold. *Minerals*, 2021, vol. 4, pp. 1–23.
26. Ngouabe E.G.T., Vishiti A., Nforba M.T. Morphology and composition of alluvial gold from the Meiganga area, northern Cameroon: implications for provenance. *J. Sediment. Environ*, 2022, vol. 7, pp. 671–689.
27. Chetvertakov I.V., Ivanov A.V., Mikheeva E.A., Chikisheva T.A., Yakich T.Yu. Prospects for the primary gold content of the south of the Siberian Platform based on the results of studying the morphological and geochemical features of slip gold. *Otechestvennaya geologiya*, 2021, no. 1, pp. 97–114. In Rus.
28. Shadrina S.V. *Geokhimicheskie indikatory zolotogo orudneniya Orton-Fedorovskogo rudnogo uzla (Gornaya Shoriya)*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Geochemical indicators of gold mineralization of the Orton-Fyodorovsky ore cluster (Gornaya Shoria). Cand. Diss. Abstract]. Novosibirsk, 2000. 23 p.
29. Pshenichkin A.Ya. Kristallomorfologiya piritu i ee ispolzovanie v praktike poiskovo-razvedochnykh rabot na zoloto [Crystal morphology of pyrite and its use in the practice of prospecting for gold]. *Russian Geology and Geophysics*, 1989, vol. 30, no. 11, pp. 65–75.
30. Yakhontova L.K., Grudnev A.P. *Mineralogiya okislennykh rud. Spravochnoe posobie* [Mineralogy of oxidized ores. Reference manual]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 198 p.

Received: 2 May 2023.

Reviewed: 4 May 2023.

Information about the authors

Anatoliy Ya. Pshenichkin, Cand. Sc., engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.

Roman Yu. Gavrilov, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.