УДК 553.068.368, 553.411.071

DOI: 10.35597/2313-545X-2019-5-2-83-100

ЗОЛОТО В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ГВИАНСКОГО ЩИТА (ЮЖНАЯ АМЕРИКА)

Е.Е. Паленова, К.А. Новоселов, Е.В. Белогуб

Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; palenova@mineralogy.ru

GOLD IN WEATHERING MANTLE OF THE GUIANA SHIELD (SOUTH AMERICA)

E.E. Palenova, K.A. Novoselov, E.V. Belogub

Institute of Mineralogy SU FRC MG UB RAS, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; palenova@mineralogy.ru

В статье охарактеризован минеральный состав латеритной коры выветривания, перекрывающей проявления золота в зеленокаменных породах Амамури и Контакт, расположенные в 20 км к юго-востоку от отрабатываемого месторождения Аврора (запасы 185 т Ац, Кооперативная Республика Гайана). Основным минералом коры выветривания является неупорядоченный каолинит (35-90 мас. %), второстепенными – реликтовый кварц и гидрослюда (до 20 мас. % иллита). Тяжелая фракция представлена лимонитом (в отдельных пробах до 8 мас. % гетита), магнетитом, гематитом, ильменитом, анатазом, железистым рутилом, псиломеланом, пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и ковеллином. Из акцессорных минералов распространены циркон, турмалин, эпидот, амфибол. Самородное золото составляет значительную часть гравитационных концентратов (до 9 мас. %) и включает: 1) коренное в реликтовых кварцевых жилах и штокверках, 2) остаточное в латерите и 3) гипергенное золото. По данным минералогических исследований установлено, что процессы латеритизации и моносиаллитизации в коре выветривания проявлены не полностью, что, вероятно, связано с эрозией древней площадной коры и низкой степенью зрелости современных латеритов над проявлениями Амамури и Контакт. Основная масса золота имеет остаточное происхождение, процессы его переотложения и гипергенного изменения проявлены ограниченно. Преобладающий размер золота менее 100 мкм затрудняет гравитационное обогащение латеритов, а низкая степень упорядоченности каолинита препятствует агломерации при цианировании и кучном выщелачивании. Вероятно, более перспективны для извлечения аллювиальные россыпи, в которых происходит естественное фракционирование частиц золота по крупности, что облегчает извлечение гравитационными методами.

Илл. 8. Табл. 3. Библ. 23.

Ключевые слова: латеритные коры выветривания, гипергенное золото, Гайана

The article describes mineral composition of laterite weathering mantle overlapping the Amamuri and Kontakt gold deposits in the greenstone rocks, located 20 km southeast of the Aurora deposit (reserves of 185 tons Au, Republic of Guyana). The major minerals of the weathering mantle include disordered kaolinite (35–90 wt. %), relict quartz and hydromica (up to 20 wt. % illite). The heavy concentrate is represented by limonite (up to 8 wt. % goethite), magnetite, hematite, ilmenite, anatase, ferrous rutile, psilomelane, pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, covellite, zircon, tourmaline, epidote and amphibole. Native gold composes significant amount of heavy concentrates (up to 9 wt. %) and includes the following types: 1) lode gold in relict quartz veins and stockwork,

2) relict gold in laterite and 3) supergene gold. According to mineralogical studies, moderate lateritization and monosialitization processes are probably due to erosion of ancient areal weathering mantle and the presence of immature laterites over the Amamuri and Kontakt deposits. Most amount of gold is relic. The processes of its redeposition and supergene alterations are weak. The dominant size of gold grains of $<100 \,\mu$ m makes gravitational concentration of laterites more difficult, whereas weakly ordered kaolinite prevents agglomeration during cyanidation and heap leaching. Alluvial placers are probably more promising for exploration, since they provide natural fractionation of gold particles by size favorable for gravity extraction.

Figures 8. Table 3. References 23.

Key words: lateritic weathering mantle, supergene gold, Guyana

Введение

Золотоносность севера Южной Америки овеяна легендами об Эльдорадо, которые будоражили умы испанских конкистадоров с первой половины XVI до конца XVIII вв. (Рэли, 1963). В Гайане и Венесуэле россыпное золото было обнаружено в середине XIX века. По официальным данным к настоящему времени в этих странах кустарными методами добыто более 280 т Аи, что однако может составлять лишь 50 % фактической добычи. Золотодобыча в Гайане является одним из основных источников государственного дохода: ежегодно в стране извлекается несколько тонн металла из россыпей и золотоносного латерита, в основном, силами многочисленных мелких компаний (http:// www.transglobalgoldcorp.com/Guyana Geology Mining Report.pdf).

Сложные климатические условия, густой тропический лес, мощные площадные коры выветривания, покрывающие практически всю территорию Гайаны, а также отсутствие инфраструктуры препятствуют геологическому изучению региона. Несмотря на это в стране открыты крупные коренные месторождения: Аврора (185 т Au), Омай (140 т Au), Каруни (28 т Au) и несколько десятков более мелких, а в прилегающих регионах разведаны гигантские по запасам объекты: Лас Кристинас (900 т Au) и Эль Каллао (680 т Au) в Венесуэле и Розебель (395 т Au) в Суринаме. Все это позволяет предполагать высокий потенциал севера Южной Америки как возможной золотоносной провинции мирового уровня (Tedeschi et al., 2018а), (рис. 1).

В геологическом отношении северная часть Южной Америки, в т.ч. территория Гайаны, представлена Гвианским щитом, золотоносность которого связана с гранитно-зеленокаменными поясами и конгломератами раннего протерозоя (Voicu et al., 2001; Teixeira et al., 2007; Frimmel, 2014; Beyer et al., 2015). Большинство месторождений относится к орогенному типу, однако здесь известны также эпитермальные и порфировые объекты (Voicu et al., 2001). Формирование латеритных кор выветривания Гвианского щита, по-видимому, началось в кайнозое со времени установления тропического климата на Южноамериканском континенте (Gill, 1961). Прямые оценки возраста золотоносных кор выветривания Южной Америки не известны.

В статье приводятся результаты минералогического исследования латеритов, перекрывающих коренные проявления золота в зеленокаменных породах Амамури и Контакт, которые расположены в 20 км к юго-востоку от отрабатываемого крупного месторождения Аврора (https://www.guygold. com/Operations/Aurora-Gold-Mine/default.aspx). В настоящее время на указанных рудопроявлениях ведутся поисково-оценочные и разведочные работы с попутной отработкой кор выветривания силами компаний Innovative Mining Inc. (Гайана), ООО «Золотой Прииск» и ООО «Золотой Рудник» (Белоруссия, Россия). Нами изучен минеральный состав глинистой фракции и тяжелого концентрата и детально охарактеризовано золото с целью определения типа выветривания, степени зрелости латеритов, а также оценки технологических свойств руд.

Региональная геология

Гвианский щит представляет собой северный сегмент Амазонского кратона Южной Америки. Он занимает площадь около 900 000 км² в междуречье Амазонки и Ориноко и расположен на территории пяти стран: Венесуэлы, Кооперативной Республики Гайаны, Суринама, Французской Гвианы и севера Бразилии. В структуру Гвианского щита входят (рис. 1) архейский высокоградный метаморфический комплекс Иматака (~3.4 млрд лет), раннепротерозойские зеленокаменные пояса (>2.12 млрд лет), прорывающие их син- и пост-тектонические



Рис. 1. Геологическое строение северной части Гвианского щита по (Voicu et al., 2001) с изменениями.

1 – осадочные породы фанерозоя; 2 – PR₁, осадочные породы (формация Рорайма), фельзические и мафические вулканические породы (Уатума и Аванаверо); 3 – PR₁, высоко метаморфизованные породы; 4 – PR₁, гранитоиды; 5 – PR₁, слабо метаморфизованные породы (зеленокаменные пояса); 6 – архейский высоко метаморфизованный террейн (комплекс Иматака); 7 – PR₁, сдвиговые зоны; 8 – Транс-Амазонская складчатость; 9 – месторождения золота; 10 – объекты исследования.

Fig. 1. Geological structure of the northern part of Guiana shield, modified after (Voicu et al. 2001).

1 – Phanerozoic sedimentary rocks; 2 – Paleoproterozoic sedimentary rocks (Roraima Formation), felsic and mafic volcanic rocks (Uatuma and Avanavero); 3 – Paleoproterozoic high-grade metamorphic rocks; 4 – Paleoproterozoic undifferentiated granitoids; 5 – Paleoproterozoic low-grade metamorphic rocks (greenstone belts); 6 – Archean high-grade metamorphic terrane (Imataca Complex); 7 – Paleoproterozoic shear zones; 8 – Trans-Amazonian folding; 9 – gold deposits; 10 – objects of study.

гранитоиды (>2.08 млрд лет), высокоградные метаморфические террейны, представленные гранулитами, гнейсами и слюдистыми сланцами (1.95– 2.02 млрд лет), и внутриконтинентальный осадочный бассейн Рорайма (>1.8 млрд лет). Раскрытие Атлантического океана в мезозое привело к образованию нескольких рифтов и грабенов, заполненных континентальными толеитовыми базальтами и перекрывающими их озерными отложениями, а также к внедрению дайкового комплекса диабазов Апатое (196 \pm 5.7 млн лет). Третичные неконсолидированные отложения, представленные континентально-дельтовыми песками и глинами, покрывают северную часть Гайаны и Суринама (Voicu et al., 2001).

Одним из основных структурных элементов Гвианского щита в пределах Кооперативной Республики Гайаны является гранит-зеленокаменный пояс Биримиан (Voicu et al., 2001; Отчет..., 2016). Он сложен толеитовыми базальтами, габбро и горнблендитами с редкими прослоями коматиитов, которые перекрыты известково-щелочными андезитами и терригенными породами и прорваны дайками известково-щелочных риолитов и порфиритов, а также основными и ультраосновными породами среднего протерозоя. В пределах зеленокаменного пояса развиты интрузивные тела гранитоидов среднепротерозойского Трансамазонского комплекса (Voicu et al., 2001).

Золоторудные месторождения располагаются преимущественно вдоль региональных сдвиговых зон запад-северо-западного простирания и приурочены к вулканогенно-осадочным и вулканогенным породам, метаморфизованным в условиях пренитпумпеллиитовой до амфиболитовой фации, а также к интрузивным комплексам (рис. 1). Запасы месторождений оцениваются в первые десятки тонн руды со средними содержаниями золота 1.3–2.5 г/т. Основными технологическими типами коренных руд являются золото-сульфидный, золото-сульфидно-кварцевый и золото-кварцевый. От 30 до 80 % запасов связано с золотоносными корами выветривания (Voicu et al., 2001; Отчет..., 2016).

Тропический климат (среднегодовые температуры около 27 °C, количество осадков около 2000-2500 мм/год) обусловил формирование протяженных площадных кор выветривания, мощность которых зависит от рельефа, состава коренных пород и тектонической нагрузки и колеблется от 14-35 до 100 м (на месторождении Аврора). В вертикальном профиле коры выветривания выделяются (сверху вниз): 1) плотный гидроксидно-железистый слой латерита, обогащенный глиноземом - так называемая кираса («панцирь»); 2) латерит – каолиновые глины красно-бурого и розового цвета, преимущественно бесструктурные; 3) сапролит – сильно выветрелые, механически непрочные породы желтовато-серого, серого и зеленовато-серого цвета с сохранившимся структурным рисунком. Кираса распространена, в основном, на вершинах холмов и зачастую представляет собой переотложенный материал. Наличие твердого поверхностного слоя сдерживает разрушение залегающих ниже рыхлых выветрелых пород. Золото концентрируется в верхней и нижней части латеритного профиля, а также может накапливаться на уплотненных участках сапролитов, образующих аналог «ложных плотиков» (Отчет..., 2016).

В рассматриваемом районе широко распространены четвертичные делювиальные, пролювиальные и аллювиальные отложения – продукты переотложения кор выветривания. Мощность аллювия колеблется от долей метра до 3–4 м, а гравийнопесчаный потенциально золотоносный пласт в нем составляет десятки сантиметров (Отчет..., 2016).

Объекты исследования

Рудопроявление Амамури залегает в блоке крутопадающих вулканогенно-осадочных пород, метаморфизованных в амфиболитовой фации и прорванных телами (в порядке внедрения) гранитов, гранодиоритов и диоритовых порфиритов. На контактах интрузивных пород и метаморфических сланцев наблюдаются зоны милонитизации. Поздние гидротермально-метасоматические изменения привели к образованию редких кварцальбитовых и кварцевых жил и прожилков, а также березитов и филлизитов во внутренних частях интрузивных тех и на контакте интрузий со сланцами, с которыми, вероятно, и связано золотое оруденение. Рудопроявление Контакт приурочено к восточному экзоконтакту массива биотитовых гранитов с амфиболитами и контролируется тектонической зоной меридионального простирания. Золотоносная минерализация выявлена в участках жильно-прожилкового окварцевания, имеющих северо-восточное простирание и связанных с оперяющими основную тектоническую зону разломами (рис. 2; Отчет..., 2016).

Мощность кор выветривания на территории рудопроявлений Амамури и Контакт составляет 20-30 м. На Амамури плотная кираса отсутствует, переотложенные латериты развиты незначительно. Кора выветривания имеет мощность до 20 м и более и представлена бесструктурными глинами коричневой окраски с участками обеления (рис. 26). Латерит подстилается в различной степени выветрелыми породами, для которых обычно оглинивание, дезинтеграция и частое полускальное сложение (зона сапролита). Мощность таких структурных кор составляет несколько метров и увеличивается в зонах разломов. Нижняя граница коры выветривания резкая, но в подстилающих породах обычно наблюдаются прослои глин, связанные с зонами повышенной проницаемости (Отчет..., 2016).

На проявлении Контакт в кирасе выявлены участки с повышенным содержанием золота (до 1 г/т), а также аномальными концентрациями меди, цинка, свинца, мышьяка и других элементов, характерных для железных шляп сульфидных объектов. Кираса проявлена не повсеместно. Латеритная кора выветривания красновато-бурая до грязножелтой с участками гематитизации, иногда сохраняет структуру первичных пород. Подстилается интенсивно выветрелыми гранитоидами и амфиболитами (Отчет..., 2016).



Рис. 2. Геологическое строение объектов исследования по (Отчет..., 2016 с упрощениями). а – геологическая карта района работ с положением рудопроявлений Амамури и Контакт: 1 – аллювиальные отложения; 2 – кираса; 3 – вулканогенно-осадочные породы; 4 – метавулканиты основного состава; 5 – амфиболитовые гнейсы; 6 – амфиболиты; 7 – граниты; 8 – минерализованные зоны.

б – разрез рудопроявления Амамури по линии А–Б: 1, 2 – латерит: 1 – глина бурая, красно-бурая, 2 – глина светло-коричневая, розовая; 3 – сапролит; 4 – диориты; 5 – вулканогенно-осадочные породы; 6 – метавулканиты основного состава; 7, 8 – золотоносные зоны в коре выветривания: 7 – >0.1 г/т, 8 – >0.5 г/т; 9 – минерализованная зона в коренных породах.

Fig. 2. Geological structure of objects of study, simplified after (Unpublished report..., 2016).

a - geological map of the Amamuri and Kontakt deposits (camp scale): 1 - alluvial sediments; 2 - cuirass; 3 - volcanosedimentary rocks; 4 - mafic metavolcanic rocks; 5 - amphibole gneiss; 6 - amphibolites; 7 - granites; 8 - mineralization.

6- cross section of the Amamuri deposit to the west: 1, 2 – laterite: 1 – brown and red-brown clay, 2 – light brown and pink clay; 3 – saprolite; 4 – diorites; 5 – volcanosedimentary rocks; 6 – mafic metavolcanic rocks; 7, 8 – gold-bearing zones of weathering mantle: 7 – >0.1 g/t, 8 – >0.5 g/t; 9 – mineralization of primary rocks.

МИНЕРАЛОГИЯ 5(2) 2019



Puc. 3. Положение точек опробования в канавах рудопроявления Амамури. *Fig. 3.* Position of sampling points in trenches of the Amamuri deposit.

Методы исследования

Для оценки вариаций валового минерального состава кор выветривания по латерали и глубине были отобраны пробы из канав 319, 320, 321 в интервале 0–1 м с глубины примерно 1.5–3 м и из скважины 1001 в интервале 1–16.5 м (рудопроявление Амамури) (рис. 3).

Минеральный состав золотоносных латеритов изучен в дубликатах технологической пробы рудопроявления Амамури (ТП-2/2016) и продуктах гравитационного обогащения технологических проб рудопроявления Контакт (ТП-1/2017 и П-2/2017). Проба ТП-2/2016 представляла собой глинистую вишнево-бурую кору выветривания по амфиболитам (?) с прожилками кварца и средневзвешенным содержанием Аи около 2 г/т. Проба ТП-1/2017 отобрана селективным способом из золотоносной кварцевой жилы, ТП-2/2017 - из оставшегося после извлечения кварца рыхлого глинистого материала коры выветривания по амфиболитам. Гравитационные концентраты проб ТП-1/2017 и ТП-2/2017 получены на установке Кеепе ingeneering непосредственно на участке рудопроявления Контакт.

Валовый минеральный состав проб глинистых кор выветривания и дубликата технологической пробы рудопроявления Амамури изучен рентгеноструктурным методом (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000, Си К-α излучение с монохроматором, 1°/мин, количественный анализ полнопрофильным методом Ритвельда, программный пакет SiroQuant V.4, аналитик П.В. Хворов). Содержания металлов в коре выветривания оценены с помощью рентгенофлюоресцентного анализатора INNOV-Х-α (аналитик Е.Д. Зенович).

Тяжелый концентрат из дубликата технологической пробы рудопроявления Амамури получен путем доизмельчения до фракции –2 мм с последующей отмывкой пробы в лотке и доводкой расклассифицированного шлихового концентрата в бромоформе (2.9 г/см³). Тяжелый концентрат пробы ТП-2/2016 и продукты гравитационного обогащения проб ТП-1/2017 и ТП-2/2017 просмотрены под стереомикроскопом Stemi 2000 (Zeiss), а также в полированных препаратах на поляризационном микроскопе Axioscope A1 (Zeiss). Из продуктов гравитационного обогащения проб ТП-1/2017 и ТП-2/2017 получены монофракции золота путем отмывки в бромоформе. Морфологические особенности, состав рудных минералов и пробность золота изучены на СЭМ VEGA3 TESCAN с ЭДС (аналитики И.А. Блинов, М.А. Рассомахин).

Результаты исследования

По данным рентгеноструктурного анализа (табл. 1, рис. 4) основным минералом коры выветривания, сформированной по зеленокаменным породам, является каолинит низкой степени упорядоченности, о чем свидетельствует значительное уширение его базальных отражений на рентгенограмме (7.2, 3.58, 2.50 Å), а также слабая разрешенность рефлексов общего положения в интервале 19.5-22.5° шкалы 20. Вариации состава преимущественно связаны с соотношением каолинита и кварца, очевидно, реликтового происхождения. Данные геологической документации поисковых канав и скважин свидетельствуют о присутствии в латеритах кварцевых жил и штокверковых зон разной степени сохранности. В отдельных пробах содержание кварца может достигать 55 мас. %, однако не всегда это очевидно по внешнему виду глинистой массы. Гидратированные слюды (иллит) присутствуют не повсеместно, и их концентрации варьируют от 0 до 20 мас. % пробы. По вертикальному профилю коры

Таблица 1

Характеристика основных типов глин в коре выветривания рудопроявления Амамури

Table 1

1.			Вариации содержания металлов						Минеральный состав							
<u>א</u> רו	Проба	Характеристика	Ti	Fe	Zn	Ba	Zr	Mn	Rb	Kaol	Qu	Illite	Rut	Gt	Hem	Ilm
11/11			мас. %		Г/Т			Mac. %								
1	319/0	Белая глина	_	1.8	105	_	206	312	31	34	56	10	сл.	-	_	_
2	319/0a	Красная глина	1.2	7.1	71	_	181	350	32	46	52	2	сл.	-	-	_
3	319/1	Коричневая глина	_	1.7	91	314	196	151	21	74	21	5	сл.	-	_	_
4	320/102	Коричневато-красная	4.9	>10	116	_	192	_	_	67	18	сл.	1	8	1	4
5	320/102a	глина	5.3	>10	71	_	173	458	_	73	13	-	1	8	3	2
6	320/128	Кирпично-красная глина	0.9	9.3	46	873	130	_	_	77	22	_	сл.	_	1	_
7	321/20	Белая опаловидная порода	_	0.8	30	_	206	_	15	43	55	_	1	_	_	_
8	321/22	Пестроцветные красно-белые глины	4.0	>10	95	1398	229	396	_	93	6	-	сл.	_	_	_
9	ТП-1/2016	Дубликат техноло- гической пробы								61	30	9	_	сл.	_	_

Примечание. Положение точек опробования показано на рис. 4. Проба 319/0 также содержит 102 г/т Ni; пробы 321/20 и ТП-1/2016 – следы монтмориллонита. Kaol – каолинит, Qu – кварц, Illite – иллит, Rut – рутил, Gt – гетит, Hem – гематит, Ilm – ильменит. Прочерк – содержание ниже предела обнаружения, сл. – следы (< 1 %). При рентгеноструктурном анализе рентгеноаморфное вещество не определялось (пленчатые гидроксиды железа).

Note. Position of sampling points is shown in Fig. 4. Sample 319/0 also contains 102 ppm Ni. Samples 321/20 and TII-1/2016 also contains traces of montmorillonite. Kaol – kaolinite, Qu - quartz, Illite – illite, Rut - rutile, Gt - goethite, Hem – hematite, Ilm – ilmenite. Dash – below detection limit, $c\pi$. – traces (< 1 %). The amorphous matter was not determined by X-ray analysis.

выветривания также меняется степень гидратации слюд вплоть до сохранения мусковита в глубоких частях разреза. Вероятно, присутствие иллита в латеритах отражает состав исходных пород, и его наибольшее содержание связано с выветрелыми кварц-серицитовыми метасоматитами.

В составе глинистого материала постоянно присутствует небольшая примесь рутила (до 1 мас. %), а в отдельных пробах коричневато-красных и кирпично-красных глин – гетит, гематит и ильменит, причем содержание гетита может достигать 8 мас. % (без учета рентгеноаморфных гидроксидов железа). Для этих проб характерны высокие концентрации Fe и Ti по данным рентгенофлюоресцентного анализа (табл. 1), однако не всегда содержание этих элементов коррелирует с присутствием отражений их собственных минералов на дифрактограммах, что может быть связано с рентгеноаморфной формой их нахождения в коре выветривания.

Стабильные концентрации Zr на уровне 200 г/т связаны с постоянным присутствием циркона в тя-

желом концентрате. Марганец встречается в форме гидроксидов в тяжелой фракции, вероятно, с ними же связаны и спорадические повышенные концентрации Ва. Содержание других элементов-примесей низкие.

В вертикальном профиле коры выветривания не наблюдаются значительные колебания содержаний Fe и Al (за исключением интервалов выветрелых кварцевых прожилков), в то время как концентрации К меняются скачкообразно. Последнее обусловлено сохранением реликтового мусковита и иллита (рис. 4).

Золото в латеритах распределено неравномерно (рис. 26, 4), содержание в отдельных пробах может достигать 6 г/т и более, однако фоновые концентрации составляют менее 0.01 г/т. Наблюдается обогащение золотом верхних частей коры и зоны перехода латерита к сапролиту. Рудные содержания Au связаны, чаще всего (но не повсеместно), с участками кварцевых прожилков, глинами с реликтами сульфидов и интенсивно выветрелыми



Рис. 4. Вариации содержания Fe, Al, K, Au и минерального состава в профиле коры выветривания рудопроявления Амамури (скважина 1001).

1 – латерит; 2 – выветрелый кварцевый штокверк; 3 – сапролит; 4 – зона дезинтеграции; 5 – материнские породы; 6 – каолинит; 7 – кварц; 8 – серицит; 9 – рутил; 10 – гетит. Содержания Fe, Al, K (AR-MS анализ) и Au (пробирный анализ) даны по данным Innovative Mining Inc. и ООО «Золотой Рудник». Минеральный состав – данные количественного рентгеноструктурного анализа.

Fig. 4. Variations in Fe, Al, K (AR-MS analysis) and Au (Assay analysis) contents and mineral composition of weathering mantle of the Amamuri deposit (borehole 1001).

1 – laterite; 2 – weathered quartz stockwork; 3 – saprolite; 4 – disintegration zone; 5 – primary rocks; 6 – kaolinite; 7 – quartz; 8 – sericite; 9 – rutile; 10 – goethite. The contents of Fe, Al, K (AR-MS) and Au (Assay analysis) are given according Innovative Mining Inc. and Zolotoy Rudnik Ltd. data. Mineral composition is determined by XRD.

Таблица 2

Минеральный состав гравиконцентратов технологических проб

Mineral composition of heavy	concentrates of technological samples
winner ar composition of neavy	concentrates of teenhological samples

№ пробы	Главные минералы	Второстепенные минералы	Редкие и акцессорные минералы	Золото
ТП-1/2016 тяжелая немагнитная	Каолинит 50 Гетит 15 Иллит 12	Кварц 8 Турмалин 8 Рутил 1	Пирит, псиломелан, минерал группы крандаллита (?)	Пробность 917–967 ‰
ТП-1/2016 тяжелая электромагнитная	Каолинит 33 Ильменит 26 Гематит 16 Гетит 14	Иллит 9 Кварц 2	Рутил	
ТП-1/2017	Кварц 31 Гетит 21 Ильменит 20 Гематит 13	Магнетит 6 Рутил 1	Пирит, галенит, халькопирит, циркон, турмалин, эпидот, амфибол	9.33 мас. % 0.4198 г Пробность 784–962 ‰
ТП-2/2017	Ильменит 69 Гетит 10	Гематит 7 Кварц 4 Рутил 2	Пирит, халькопирит, сфалерит, ковеллин, турмалин, циркон, флюорит, амфибол	8.22 мас. % 0.4003 г Пробность 825–941 ‰

гранодиоритами, серицит-кварцевыми сланцами и амфиболитами с сохранившимся структурным рисунком (данные ООО «Золотой Рудник»).

Тяжелая фракция представлена лимонитом, магнетитом, гематитом, ильменитом, анатазом, железистым рутилом, псиломеланом, пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и ковеллином. Из акцессорных отмечены циркон, турмалин, эпидот, амфибол, флюорит, минерал группы крандаллита (?). Самородное золото составляет значительную часть концентратов, его содержание достигает 9 мас. % (табл. 2).

Пирит – самый распространенный сульфидный минерал, в жильном кварце образует кристаллы с огранкой куба и пентагондодекаэдра (рис. 5а). Практически не содержит включений, редки тонкие включения халькопирита и сфалерита, встречаются пористые зерна с вростками нерудных минералов и рутила. Отмечены включения пирита в рутиле размером до 0.02 мм. В коре выветривания также присутствует тонкозернистая вкрапленность пирита в кварце (иногда совместно с халькопиритом), изометричные включения в ильмените и магнетите, в единичных случаях колломорфные выделения (рис. 56). Кроме того, отмечены единичные выделения халькопирита с каемками ковеллина, сростки галенита с пиритом и с рутилом (рис. 5в, г).

Ильменит образует субгедральные и ангедральные выделения, реже кристаллы. Нередко содержит тонкую эмульсионную вкрапленность и пластинчатые вростки гематита (рис. 5д, е). В единичных случаях срастается с золотом, образует тонкие ксеноморфные включения в турмалине. В составе ильменита отмечаются примеси (мас. %) MnO 0.81–0.91, MgO до 1.31 и Al₂O₃ 0.59–2.12. Эмпирическая формула ильменита (Fe_{0.69-0.99}Mn_{0.02}Mg_{0-0.05})_{0.98–1.06}(Ti_{0.92-1.00}Al_{0.02-0.06})_{0.98–1.02}O_{3.00}.

Магнетит распространен в виде кристаллов, а также субгедральных, реже ангедральных зерен. Для него характерна мартитизация (см. рис. 5д), интенсивность которой варьирует от слабой (редкие ламели гематита в магнетите) до практически полных псевдоморфоз гематита по магнетиту. Иногда в магнетите присутствуют грубые ламеллярные выделения ильменита. Реликты магнетита могут наблюдаться в частицах лимонита.

Рутил встречается в виде кристаллов размером до 0.2 мм, в том числе в сростках с кварцем и гидроксидами железа, иногда содержит включения пирита. По составу рутил сильно железистый с примесью Cr_2O_3 (0.27 мас. %) и отвечает формуле $(Ti_{0.81}Fe_{0.19})_{1.00}O_{2.00}$.

Лимонит характеризуется различными агрегатными формами, из которых наиболее распространена тонкая пропитка в частицах кварца и каолинита. В грубой фракции лимонит формирует сферолиты размером до 2–3 мм. Массивный гетит образует натечные корки и зерна, почковидные агрегаты с ра-





а – кубические кристаллы пирита, реликты кварцевой жилы; б – колломорфный пирит (Ру) и фрагменты ильменита и гетита, кора выветривания; в – халькопирит (Сср), пирит (Ру) и фрагмент зональной корки гетита (gt), реликты кварцевой жилы; г – сросток галенита (Gn) с оксидами Тi, реликты кварцевой жилы; д – сросток гематитизированного (Hmt) магнетита (Mt) с ильменитом (ilm), кора выветривания; е – ильменит с тонкой эмульсионной вкрапленностью гематита, кора выветривания; ж, з – колломорфные и почковидные выделения гидроксидов Fe, кора выветривания; и – остаточное золото (Au) в рубашке лимонита (gt), кора выветривания. Отраженный свет, а–ж, и – с поляризатором; з – с анализатором.

Fig. 5. Morphology of major minerals of heavy concentrates.

a – cubic pyrite crystals, quartz vein relics; δ – colloform pyrite (Py) and fragments of ilmenite and goethite, weathering mantle; B – chalcopyrite (Ccp), pyrite (Py), fragment of goethite zonal crust (gt), quartz vein relics; r – intergrowth of galena (Gn) and Ti oxides, quartz vein relics; π – intergrowth of hematitized (Hmt) magnetite (Mt) and ilmenite (ilm), weathering mantle; e – ilmenite with fine hematite inclusions, weathering mantle; π , 3 – colloform and nodular Fe hydroxides, weathering mantle; μ – relic gold (Au) with limonite rim (gt), weathering mantle. Reflected light, a– π , μ – with polarizer; 3 – with analyzer.

диально-лучистым строением (рис. 5ж, з), псевдоморфозы по кристаллам пирита. Часто ассоциирует с самородным золотом или содержит его включения, а также образует плотные рубашки вокруг золотин (рис. 5и). Обычно лимонит оптически неоднороден: наблюдаются 2–3 фазы, которые образуют сложные срастания. По данным электронной микроскопии в отдельных участках псевдоморфоз лимонита по пириту отмечается примесь V и Cr. В сферолитовых агрегатах вариации состава лимонита обусловлены примесью Al, которым обогащены внешние зоны (табл. 3). Псиломелан представлен почковидными агрегатами, размер которых достигает 0.5 мм. Оптическая зональность обусловлена, главным образом, различиями в структуре, состав минерала в разных зонах выдержан (табл. 3).

Турмалин широко распространен в тяжелом концентрате. Представлен вытянутыми кристаллами грязно-зеленовато-серого цвета, размер которых по удлинению достигает 0.5 мм, поперек удлинения 0.1–0.2 мм. В турмалине часто наблюдаются ксеноморфные включения железистого рутила, ильменита. Состав отвечает дравиту:

Таблица 3

Table 3

Химический состав лимонита и псиломелана (мас. %) Chemical composition of limonite and psilomelane (wt. %)

№ п/п	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	BaO	Сумма
1	1.78	1.16	_	_	_	0.37	0.47	—	82.09	_	85.87
2	10.81	2.50	_	-	_	0.41	0.41	—	59.14	_	74.71
3	0.28	2.24	_	_	_	—	_	_	70.62	_	73.42
4	1.34	2.63	_	-	_	0.40	1.07	_	75.24	_	80.67
5	1.22	0.29	0.38	0.52	0.16	—	_	60.01	_	12.58	75.15
6	1.07	0.27	0.37	0.29	0.15	_	_	60.32	—	13.39	75.85

Примечание. 1, 2 – сферолит лимонита (1 – центр, 2 – кайма); 3, 4 – псевдоморфозы лимонита по пириту; 5, 6 – почковидный агрегат псиломелана (5 – центр, 6 – кайма). Анализ 2 также содержит 1.44 мас. % TiO₂; анализ 3 – 0.29 мас. % SO₃.

Note. 1, 2 – nodular limonite (1 – center, 2 – rim); 3, 4 – pseudomorphic limonite after pyrite; 5, 6 – nodular psilomelane (5 – center, 6 – rim). Analysis 2 also contains $TiO_2 - 1.44$ wt. %; analysis 3 – $SO_3 0.29$ wt. %.

 $\begin{array}{l} (Na_{0.58-0.70}Ca_{0.04-0.27}K_{0-0.02})_{0.74-0.88}(Mg_{1.55-2.02}Fe_{0.73-1.05}\\ Al_{0.16-0.37})_{2.91-2.97}Al_{6.00}(BO_3)_3 [(Si_{5.78-5.87}Al_{0.07-0.14}\\ Ti_{0.06-0.08})_{6.00}O_{18}](OH)_4 {\rm c}$ примесью Cr_2O_3 (до 0.19 мас. %).

Самородное золото в коре выветривания представлено несколькими генетическими типами: 1) коренное в реликтовых кварцевых жилах и штокверках; 2) остаточное в латерите; 3) гипергенное. Реликтовое золото в кварцевых жилах (рис. 6а, б) преимущественно цементационное и интерстициальное с ямчато-бугорчатой и крупноячеистой поверхностью. Преобладают золотины классов крупности -0.25 и -0.1 мм (рис. 6б), при этом тонкое золото часто имеет трещинную и пластинчатую форму, приводящую к потерям при гравитационном извлечении. Также в тонких классах встречаются октаэдрические кристаллы и сростки кристаллов, однако их относительное количество невелико. Золото крупностью +0.5 мм, как правило, срастается с кварцем и имеет цементационную или интерстициальную форму, иногда встречаются комковидные знаки (рис. 6а). Кроме того, отмечаются золотины в рубашках и сростках с гетитом, в единичных случаях - сростки с ильменитом. В химическом составе постоянно присутствует примесь Ag, его содержание варьирует от 8.51 до 21.82 мас. %, соответственно пробность золота из кварцевых жил составляет 782-915 %.

В коре выветривания, в том числе с сохранившимся текстурным рисунком, содержится остаточное золото разной степени сохранности. Можно проследить ряд от неизмененных золотин (рис. 6в, рис. 7а, б), преимущественно тонких (размером менее 0.1 мм), кристаллической и интерстициальной формы с гладкой поверхностью до корродированных и регенерированных индивидов. В аллювиальных отложениях встречается в различной степени окатанное золото (преимущественно слабо и средне окатанное, рис. 6г, д), в том числе со следами механических деформаций и перегибом тонкого края (рис. 6е). Здесь же чаще проявлена коррозия, (рис. 6ж), как правило, характерная для выступов довольно крупных золотин различной морфологии (от цементационных до дендритовидных), которая выражается в появлении субмикронных каверн на поверхности и растворении тонких элементов скульптуры. На корродированных зернах из элювия нередко наблюдается образование субмикронных частиц гипергенного золота (рис. 7в). В россыпях ручьев Диагональный и Дакварри присутствуют золотины, амальгамированные с поверхности (рис. 6з, и). Нередко наблюдается золото в рубашках и пленках гидроксидов Fe и Mn, а также с примазками глинистых минералов (рис. 6к), наростов пористых гипергенных агрегатов оксидов Ті. Содержание Ад в остаточном золоте варьирует от 17.51 до 6.60 мас. %, пробность - 825-934 %.

Гипергенное золото, в основном, образует изометричные субмикронные зерна на поверхности остаточного (рис. 7в–и). Нередко такие агрегаты полностью покрывают зерна остаточного золота, нарастая также на пленки гидроксидов Fe, глинистую массу, почки гетита, агрегаты вторичного лейкоксена. Относительно крупные (3–5 мкм) индивиды огранены октаэдром. Кристаллизация в стесненных условиях приводит к образованию реберных и футляровидных форм, а также пластинчатого и почковидного золота (последнее, вероятно, образовано на поверхности гетитовых корок). На



Рис. 6. Морфология коренного и остаточного золота.

а, б – коренное золото из кварцевой жилы (проба ТП-1/2017): а – цементационное и интерстициальное золото классов +2 мм (две золотины слева массой 71 мг и 22 мг) и +1 мм (общая масса 151 мг), б – золото класса –0.1 мм (масса навески 8.943 г, масштаб – монета номиналом в 1 гайанский доллар); в-к – остаточное золото: в – кристаллы и интерстициальные знаки без следов гипергенного изменения, г – полу-, средне и хорошо окатанные кристаллы и комковидные знаки золота, д – средне окатанные дендритовидные золотины, е – хорошо и идеально окатанные пластинчатые золотины, на некоторых наблюдается загиб края, ж – полуокатанные золотинки с неизмененной (сверху) и интенсивно корродированной (снизу) поверхностью, з – амальгамированное с поверхности золото, и – агломерат из амальгамированных с поверхности золотин, к – рубашки гидроксидов железа и марганца на поверхности золотин.

Fig. 6. Morphology of lode and relic gold.

a, 6 – lode gold from quartz vein (sample TII-1/2017): a – cementation and interstitial gold +2 mm in size (two grains to the left, 71 mg and 22 mg in weigh) and +1 mm (total weight of 151 mg), 6 – gold –0.1 mm in size (total weight of 8.943 g, scale is one Guyanese dollar); $B-\kappa$ – relic gold: B – crystal and interstitial gold without supergene alteration, r – semi-, medium- and well-rounded crystal and cloddy gold, π – medium-rounded dendritic gold, e – well- and perfectly rounded gold with local bended edge, π – semi-rounded gold with unaltered (top) and intensely corroded (bottom) surface, 3 – gold amalgamated from surface, π – Re and Mn hydroxides on gold surface.

проявлении Амамури встречены крупные (до 0.3 мм) хрупкие агрегаты гипергенного золота, которые сложены тонкими изометричными, часто округлыми и каплевидными зернами, нарастающими на затравку из остаточного золота и гидроксидов Fe. Кроме того, наблюдались прожилки гипергенного золота в трещинах остаточного. Гипергенное золото высокопробное: 941–1000 ‰, содержание в нем Ад не превышает 6 мас. %.



Рис. 7. Морфология гипогенного (а, б) и гипергенного (в-и) золота.

а – коренное золото интерстициальной формы с гладкой и бугорчатой поверхностью без следов гипергенных изменений; б – почковидные агрегаты лимонита (Lim) на остаточном золоте с гладкой и ступенчатой поверхностью без следов гипергенного изменения; в – тонкогубчатая корродированная поверхность остаточного золота (точка е) с субмикронными изометричными выделениями гипергенного золота (точка f); г – скелетные и футляровидные выделения гипергенного золота на поверхности остаточного (точка j); д – осаждение гипергенного золота на пленках глинистых минералов на остаточном золоте; е – губчатое (хрупкое) золото с многочисленными вростками лимонита и глинистых минералов; ж – субмикронные округлые и каплевидные выделения гипергенного золота в ассоциации с глинистыми минералами; з – пластинчатые (точка m) и колломорфные (точка n) агрегаты гипергенного золота на корках гетита; и – почковидный сросток гетита (точка h) с субмикронными выделениями гипергенного золота (точка i). BSE фото. *Fig. 7.* Могрhology of hypogene (a, б) and supergene (в–и) gold.

a – lode interstitial gold with smooth and mound-like surface without any traces of supergene alteration; 6 – nodular limonite (Lim) on relic gold with smooth surface without supergene alteration; B – sponge corrosion of the relic gold surface (point e) with fine grain of supergene gold (point f); r – skeletal and case-like supergene gold on relic gold surface (point j); α – supergene gold on clay minerals on relic gold surface; e – sponge supergene gold with numerous ingrowths of limonite and clay minerals; α – fine grains of supergene gold associated with clay minerals; 3 – laminar (point m) and colloform (point n) supergene gold on goethite; α – nodular goethite (point h) with micron-grade supergene gold (point i). BSE-images.

Обсуждение

Химическое выветривание в условиях тропического климата приводит к интенсивному выщелачиванию Si и щелочных катионов, и, как следствие, вторичному образованию гидроксидов Al. Этот процесс называется аллитизацией или латеритизацией и хорошо иллюстрируется бокситовыми рудными полями (Самама, 1989). В полном профиле латеритной коры выделяются следующие зоны (снизу вверх): зона дезинтеграции материнских пород (сапролита), гидрослюдисто-монтмориллонит-бейделлитовая, каолинитовая, зона гетита и гидроксидов Al, железная шляпа (кираса) (Самама, 1989).

Профиль латеритной коры выветривания на рудопроявлениях Амамури и Контакт представлен не полностью (отсутствует зона гидроксидов Al, не везде проявлена кираса), что, очевидно, связано с эрозией древней площадной коры, формирование которой насчитывает несколько десятков миллионов лет (Gill, 1961). Как следствие, на изученной площади можно выделить зоны дезинтеграции материнских пород (сапролит), каолинитовой коры с сохранением реликтовых текстур и бесструктурной (латерит) и, локально, обогащенной глиноземом железной шляпы (кираса). Бокситоносные коры выветривания характерны для краевых частей Гвианского щита (Самама, 1989) и располагаются, в том числе, на северо-западе Гайаны. Процесс моносиаллитизации (каолинизации) проявлен также не полностью, о чем свидетельствуют сравнительно высокие (до 20 мас. %) сильно варьирующие концентрации реликтового иллита (и даже не полностью гидратированного мусковита) и К в валовых пробах.

Одним из главных источников золота в коре выветривания являются кварцевые жилы, в которых оно образует цементационные и интерстициальные формы, реже кристаллы. По-видимому, сульфидная минерализация в крупных жилах развита незначительно и играет второстепенную роль в концентрировании золота. Тем не менее, ассоциация остаточного золота с псевдоморфозами гетита по кристаллам пирита, а также с реликтовыми магнетитом, ильменитом, рутилом и турмалином свидетельствует о большом вкладе оруденелых вулканогенно-осадочных пород и, возможно, гранитоидов в формирование золотоносных латеритов над проявлениями Амамури и Контакт. Сульфидная минерализация в коренных породах изученной площади связана, преимущественно, с зонами гидротермально-метасоматических изменений и представлена пирротином, пиритом, в меньшей степени, халькопиритом (Отчет..., 2016). На месторождении Аврора пирит содержит включения золота (Отчет..., 2016). Детально минералогия руд в зеленокаменных поясах Гайаны изучена для месторождений Омай и Каруни, где совместно с жильной золото-кварцевой минерализацией присутствует золото-пиритовая ассоциация с теллуридами, в том числе петцитом и калаверитом (Voicu et al., 1999; Tedeschi et al., 2018б). По данным локального ЛА-ИСП-МС анализа в пирите месторождения Каруни также обнаружено «невидимое» золото в количестве 0.01–0.56 г/т (Tedeschi et al., 2018б). Выветривание и разрушение кварцевых жил, окисление сульфидов приводило к высвобождению самородного и «невидимого» золота, а также, при наличии, растворению его соединений в зоне каолинитовой коры, где происходило дальнейшее перераспределение, обусловленное физико-химическими факторами.

Подвижность золота в коре выветривания связана с формированием хлоридных, тиосульфатных и органических комплексов, а также коллоидов (Самама, 1989). В тропическом климате окисление на фронте выветривания значительно глубже уровня грунтовых вод происходит в нейтральной или кислой среде, при этом низкий уровень рН наблюдается, в частности, над фельзитами или породами с высоким содержанием сульфидов. В таких условиях высвобождается золото, связанное с теллуридами или содержащееся в решетке сульфидов и других минералов, но самородная форма остается, в основном, неподвижной из-за отсутствия подходящих комплексообразующих лигандов (Butt, 1998). Так, тиосульфат при окислении пирита образуется лишь в случае высокого содержания карбоната в первичных рудах, создающего щелочную обстановку (Mann, 1984), что реализуется на некоторых объектах западной Африки (месторождение Иту в скарнах, Béziat et al., 2016) и Папуа-Новой Гвинеи (Webster, Mann, 1984). Концентрации хлорид-иона и, в глубине профиля, органического вещества очень низкие. Все это приводит к сохранению остаточного золота в сапролите (с некоторой коррозией частиц) и, при дальнейшем выветривании, его концентрации в латерите (Butt, 1998).

Остаточное золото элювия изученных проявлений часто не несет следов гипергенных преобразований, однако, наряду с неизмененными золотинами, наблюдаются частицы со следами коррозии, а также регенерации, представленными наростами или прожилками новообразованного, практически свободного от примесей, золота (рис. 7, 8). При этом последнее тесно связано с гипергенной ассоциацией – гидроксидами Fe, глинистыми минералами, лейкоксеном. Традиционно, высокая пробность гипергенного золота считается одним из важнейших его признаков (Самородное..., 2015), однако дока-



Рис. 8. Сравнение состава гипогенного и гипергенного золота.

а–в – остаточное золото с тонкозернистыми каймами (а, б) и прожилками (в) гипергенного, цифрами указано содержание Ag (мас. %) в остаточном (синий цвет) и гипергенном (красный) золоте; г – гистограмма пробности золота (‰): 1 – золото коренное в кварцевых жилах; 2 – остаточное золото; 3 – гипергенное золото.

Fig. 8. Comparison of composition of hypogene and supergene gold.

a-B – relic gold with fine-grain rims (a, δ) and veinlets (B) of supergene gold, numbers show Ag content (wt. %) in relic (blue) and supergene (red) gold; r – histogram of gold fineness (‰): 1 – lode gold from quartz veins; 2 – relic gold; 3 – supergene gold.

зано, что при восстановлении тиосульфатных комплексов образуется низкопробное золото и даже электрум (Butt, 1998; Калинин и др., 2006). Наши исследования показывают, что в латеритах проявлений Амамури и Контакт пробность новообразованного золота всегда выше, чем остаточного (см. рис. 8). Следует подчеркнуть, что изученные пробы были отобраны из канав с глубины 3-5 м от поверхности, а значит, органическое вещество могло играть ведущую роль в растворении и переотложении золота как в форме органометаллических комплексов, так и в виде коллоидов. Последние могли быть представлены отрицательно заряженным металлическим золотом, образующимся при восстановлении золотосодержащих комплексов гуминовыми и фульвовыми кислотами и защищенным пленками гидрофильных органических молекул (Самама, 1989). Подчеркивается ведущая роль именно фульвокомплексов в миграции золота (Bowell et al., 1993). Коллоидное золото фиксируется при флокуляции всех коллоидов и накоплении железа (Самама, 1989), что способствует формированию обогащенных зон в железистом горизонте коры выветривания, отмеченное на многих месторождениях мира (Калинин и др., 2006).

Опробование скважин и горных выработок показывает, что участки обогащения золотом локализуются в верхних и нижних частях латерита, а между ними наблюдается зона относительно низких его концентраций (рис. 2б). По-видимому, выветривание приводит к частичному растворению и миграции золота в подвижных формах, вплоть до верхних горизонтов глинистой коры, где оно осаждается на восстановительном барьере, в том числе совместно с гидроксидами Fe (см. рис. 7з, и). Этот процесс является типичным для латеритных кор выветривания (Калинин и др., 2006).

Неясен вклад растворимых соединений (теллуридов) и «невидимого» золота, связанного с сульфидами, в формирование вторичных концентраций. Наличие петцита и калаверита в рудах месторождений Омай и Каруни (Voicu et al., 1999; Tedeschi et al., 2018б) и присутствие микропримесей золота в пирите (Tedeschi et al., 2018б) свидетельствуют о потенциально возможном вкладе подобных высокоподвижных форм. Однако, повидимому, их значение невелико, т.к. при высоких концентрациях «невидимого» золота в сульфидах, процесс кристаллизации гипергенного золота проявлен более интенсивно, чем в изученных объектах Гайаны. Так, на месторождении Суздаль (Казахстан) в мономинеральных фракциях арсенопирита установлены концентрации «невидимого» золота на уровне 800-1000 г/т, а в глобулярном пирите до 28 г/т. Окисление этих минералов, привело к существенному обогащению золотом коры выветривания, где гипергенные его формы представлены кристаллами размером до 100-150 мкм и друзовидными агрегатами размером до 200 мкм (Калинин и др., 2009).

Химическое растворение и переотложение золота приводит не только к увеличению, но и к уменьшению размеров его зерен (Калинин и др., 2006), что, по-видимому, наблюдается и в изученных объектах. Тонкие частицы гипергенного золота очень хрупкие и легко отделяются от поверхности остаточной золотины. Агрегаты губчатого (хрупкого) золота могут достигать 0.5 мм, однако легко крошатся при механическом воздействии. При этом на корродированных частицах остаточного золота пропадают тонкие элементы скульптуры поверхности. Все это в совокупности с данными о размере основной массы золота в коре выветривания проявлений Амамури и Контакт менее 100 мкм приводит к большим потерям при использовании гравитационных методов обогащения. Наиболее приемлемым способом отработки для такого золота считается кучное выщелачивание или цианирование с предварительной агломерацией руд (Калинин и др., 2006). Однако низкая упорядоченность каолинита (основного минерала кор выветривания) имеет отрицательное значение для агломерации. В сочетании с невысокими содержаниями металла (на уровне 0.5-1 г/т) это делает латеритные руды малопригодными для самостоятельной отработки.

Транспортировка и переотложение золота речными потоками играют ведущую роль в формировании легкообогатимых промышленно значимых его концентраций. В аллювиальных отложениях происходит естественное фракционирование и большую роль играет крупное (фракция +0.25 мм) золото, что улучшает технологические свойства руд. Помимо процессов механического окатывания и химического растворения для золота из аллювия отмечена поверхностная амальгамация и связанная с ним агломерация. Основным способом очистки аллювиального и латеритного золота в Гайане является амальгамация с последующим отжигом ртути, которая, в частности, до 2008 г. проводилась и на изученной площади (Отчет..., 2010). Степень загрязнения территории ртутью не устанавливалась, однако по аналогии с подобными районами золотодобычи в юго-восточной Венесуэле (Santos-Francés et al., 2011) предполагается ее локально высокий фон на проявлениях Амамури и Контакт. Так, в почвенных и донных отложениях бассейна р. Куюни на территории Венесуэлы концентрация ртути составляет 0.16-542 мг/кг (медиана 26.89 мг/ кг) и 0.78-744 мг/кг (медиана 19.24 мг/кг), соответственно. Главная форма нахождения Hg⁰ (86–92 %) (Santos-Francés et al., 2011). Поэтому находки амальгамированного золота в россыпях, вероятнее всего, имеют техногенное происхождение. Однако нельзя полностью исключать и вклад природной ртути, высвобождаемой при окислении и растворении сульфидов и, возможно, теллуридов.

Заключение

В профиле латеритной коры выветривания рудопроявлений Амамури и Контакт отсутствует зона гидроксидов Al и не повсеместно проявлена кираса, что, вероятно, связано с эрозией древней площадной коры. В минеральном составе до глубины 18 м преобладает каолинит, но при этом наблюдаются существенные концентрации иллита, указывающие, что процесс моносиаллитизации (каолинизации) проявлен не полностью, что в свою очередь говорит о довольно низкой степени зрелости латеритов изученной площади. Косвенно об этом свидетельствует и сохранение реликтов структуры материнских пород в каолинитовых глинах. Основная масса золота в латерите имеет остаточное происхождение, процессы его переотложения и гипергенного изменения проявлены ограниченно.

Низкая степень упорядоченности каолинита в золотоносных корах выветривания играет отрицательную роль для агломерации руд, что является препятствием для извлечения золота методами цианирования и кучного выщелачивания. Вместе с тем преобладающий тонкий размер золотин (менее 100 мкм) в сочетании с его интерстициальными формами затрудняет гравитационное обогащение. По-видимому, процессы гипергенного преобразования золота приводят скорее к уменьшению размеров его частиц, чем к укрупнению. Это делает латеритные руды малопригодными для самостоятельной отработки. Вероятно, более перспективны для извлечения аллювиальные россыпи, в которых происходит естественное фракционирование частиц золота по крупности, что облегчает извлечение гравитационными методами.

Неравномерность золота в разрезе коры выветривания (обогащение верхних горизонтов) необходимо учитывать, давая прогноз коренного оруденения на глубине.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам компаний ООО «Золотой Прииск», ООО «Золотой Рудник» и Innovative Mining Inc. и лично А.А. Данилову, Е.С. Овчаровой, С.В. Карелину, Л.В. Шатиловой, А.А. Руденко, И.Д. Глассу, А.А. Кучеренко и Г.И. Чаузовой за возможность работы и помощь в изучении золотоносных кор выветривания Гайаны. Отдельная благодарность аналитикам П.В. Хворову, Е.Д. Зенович, И.А. Блинову и М.А. Рассомахину, а также сотрудникам шлифовальной мастерской Института минералогии УрО РАН Н.П. Ивановой и И.В. Кислюк.

Работы поддержаны госбюджетной темой ЮУ ФНЦ МиГ У рО РАН (АААА- А19119061790049-3).

Литература

Калинин Ю.А., Ковалев К.Р., Наумов Е.А., Кириллов М.В. (2009) Золото коры выветривания Суздальского месторождения (Казахстан). Геология и геофизика, 50(3), 241–257.

Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. (2006) Золотоносные коры выветривания юга Сибири. Новосибирск, Гео, 339 с.

Рэли У. (1963) Открытие Гвианы. М., Государственное издательство географической литературы, 151 с.

Отчет о выполнении прогнозно-поисковых работ на участке Амамури, Кооперативная Республика Гайана, по состоянию 20.07.2016 г. (2016) ООО «Золотой Рудник», ООО «Золотой Прииск». Отв. исп. Е.С. Овчарова. М., 102 с.

Отчет по полевым работам, проведенным ОАО «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ» в Кооперативной Республике Гайана на концессиях G-120, G-121 в январеиюле 2010 г. (2010) Georgetown Gold, Metals & Minerals Inc (GGMM), ОАО «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ». М., 51 с.

Самама Ж.-К. (1989) Выветривание и рудные поля. М., Мир, 448 с. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России: атлас (2015). М.: Акварель, 200 с.

Beyer S.R., Hiatt E.E., Kyser K., Drever G.L., Marlatt J. (2015) Stratigraphy, diagenesis and geological evolution of the Paleoproterozoic Roraima Basin, Guyana: Links to tectonic events on the Amazon Craton and assessment for uranium mineralization potential. *Precambrian Research*, **267**, 227–249.

Béziat D., Siebenaller L., Salvi S., Chevalier P. (2016) A weathered skarn-type mineralization in Ivory Coast: The Ity gold deposit. *Ore Geology Reviews*, **78**, 724–730.

Bowell R.J., Gise A.P., Foster R.P. (1993) The role of fulvic acid in the supergene migration of gold in tropical rain forest. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **57**, 4179–4190.

Butt C.R.M. (1998) Supergene gold deposits. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17**(4), 89–96.

Frimmel H.E. (2014) Chapter 10. A giant Mesoarchean crustal gold-enrichment episode: possible causes and consequences for exploration. *Society of Economic Geologists Special Publication*, **18**, 209–234.

Gill E.D. (1961) The climates of Gondwanaland in Kainozoic times. *In:* A.E.M. Nairn, Ed., *Descriptive Palaeoclimatology*, Interscience Publishers, New York, 332–353.

http://www.transglobalgoldcorp.com/Guyana_ Geology___Mining_Report.pdf

https://www.guygold.com/Operations/Aurora-Gold-Mine/default.aspx

Mann A.W. (1984) Redistribution of gold in the oxidised zone of some Western Australian deposits. *Goldmining, Metallurgy and Geology. Proceedings of the Regional Conference on Mining and Metallurgy.* Perth and Kalgoorlie, October 1984, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 1–12.

Santos-Francés F., García-Sánchez A., Alonso-Rojo P., Contreras F., Adams M. (2011) Distribution and mobility of mercury in soils of a gold mining region, Cuyuni river basin, Venezuela. *Journal of Environmental Management*, 92, 1268–1276.

Tedeschi M., Hagemann S.G., Davis J. (2018a) The Karouni gold deposit, Guyana, South America: Part I. Stratigraphic setting and structural controls on mineralization. *Economic Geology*, **113**(8), 1679–1704.

Tedeschi M., Hagemann S.G., Roberts M.P., Evans N.J. (20186) The Karouni gold deposit, Guyana, South America: Part II. Hydrothermal alteration and mineralization. *Economic Geology*, **113**(8), 1705–1732.

Teixeira J.B.G., Misi A., Silva M.G. (2007) Supercontinent evolution and the Proterozoic metallogeny of South America. *Gondwana Research*, **11**, 346–361.

Voicu G., Bardoux M., Jebrak M. (1999) Tellurides from the paleoproterozoic Omai gold deposit, Guyana shild. *Canadian Mineralogist*, **37**, 559–573.

Voicu G., Bardoux M., Stevenson R. (2001) Lithostratigraphy, geochronology and gold metallogeny in the northern Guiana Shield, South America: a review. Ore Geology Reviews, **18**, 211–236.

Webster I.G., Mann A.W. (1984) The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. *Journal of Geochemical Exploration*, **22**, 21–42.

References

Beyer S.R., Hiatt E.E., Kyser K., Drever G.L., Marlatt J. (2015) Stratigraphy, diagenesis and geological evolution of the Paleoproterozoic Roraima Basin, Guyana: Links to tectonic events on the Amazon Craton and assessment for uranium mineralization potential. *Precambrian Research*, 267, 227–249.

Béziat D., Siebenaller L., Salvi S., Chevalier P. (2016) A weathered skarn-type mineralization in Ivory Coast: The Ity gold deposit. *Ore Geology Reviews*, **78**, 724–730.

Bowell R.J., Gise A.P., Foster R.P. (1993) The role of fulvic acid in the supergene migration of gold in tropical rain forest. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **57**, 4179–4190.

Butt C.R.M. (1998) Supergene gold deposits. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17**(4), 89–96.

Frimmel H.E. (2014) Chapter 10. A giant Mesoarchean crustal gold-enrichment episode: possible causes and consequences for exploration. *Society of Economic Geologists Special Publication*, **18**, 209–234.

Gill E.D. (1961) The climates of Gondwanaland in Kainozoic times. *In:* A.E.M. Nairn, Ed., *Descriptive Palaeoclimatology*, Interscience Publishers, New York, 332–353.

http://www.transglobalgoldcorp.com/Guyana_ Geology____Mining_Report.pdf

https://www.guygold.com/Operations/Aurora-Gold-Mine/default.aspx

Kalinin Yu.A., Kovalev K.R., Naumov E.A., Kirillov M.V. (2009) Gold in the weathering crust at the Suzdal' deposit (Kazakhstan). *Russian Geology and Geophysics*, **50**(3), 174–187.

Kalinin Yu.A., Roslyakov N.A., Prudnikov S.G. (2006) Gold-bearing weathering crust in the south of Siberia. Novosibirsk: Geo, 339 p. (in Russian)

Mann A.W. (1984) Redistribution of gold in the oxidised zone of some Western Australian deposits. *Goldmining, Metallurgy and Geology. Proceedings of the Regional Conference on Mining and Metallurgy.* Perth and Kalgoorlie, October 1984, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 1–12.

[Native gold of lode and placer deposits in Russia: Atlas] (2015). Moscow, Akvarel, 200 p. (in Russian)

Raleigh W. (1596) The discovery of the large, rich, and beautiful Empire of Guiana, with a relation of the great and golden city of Manoa (which the Spaniards call El Dorado) and the Provinces of Emeria, Aromaia, Amapaia, and other Countries, with their rivers, adjoining. By Robert Robinson, 112 p. [Report on field work of OJSC VNIIZAR-UBEZHGEOLOGIYA in the Cooperative Republic of Guyana at the G-120, G-121 concessions in January-July 2010] (2010) Georgetown Gold, Metals & Minerals Inc. (GGMM), OJSC VNIIZARUBEZHGEOLOGIYA. Moscow, 51 p. (in Russian)

[Report on searching and prospecting at the site Amamuri, Cooperative Republic of Guyana, as of 07/20/2016] (2016) LLC «Zolotoy Rudnik», LLC «Zolotoy Priisk». Moscow, 102 p. (in Russian)

Samama J.-C. (1986) Ore fields and continental weathering. New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc., 326 p.

Santos-Francés F., García-Sánchez A., Alonso-Rojo P., Contreras F., Adams M. (2011) Distribution and mobility of mercury in soils of a gold mining region, Cuyuni river basin, Venezuela. *Journal of Environmental Management*, 92, 1268–1276.

Tedeschi M., Hagemann S.G., Davis J. (2018a) The Karouni gold deposit, Guyana, South America: Part I. Stratigraphic setting and structural controls on mineralization. *Economic Geology*, **113**(8), 1679–1704.

Tedeschi M., Hagemann S.G., Roberts M.P., Evans N.J. (20186) The Karouni gold deposit, Guyana, South America: Part II. Hydrothermal alteration and mineralization. *Economic Geology*, **113**(8), 1705–1732.

Teixeira J.B.G., Misi A., Silva M.G. (2007) Supercontinent evolution and the Proterozoic metallogeny of South America. *Gondwana Research*, **11**, 346–361.

Voicu G., Bardoux M., Jebrak M. (1999) Tellurides from the paleoproterozoic Omai gold deposit, Guyana shild. *Canadian Mineralogist*, **37**, 559–573.

Voicu G., Bardoux M., Stevenson R. (2001) Lithostratigraphy, geochronology and gold metallogeny in the northern Guiana Shield, South America: a review. *Ore Geology Reviews*, **18**, 211–236.

Webster I.G., Mann A.W. (1984) The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. *Journal of Geochemical Exploration*, **22**, 21–42.

Статья поступила в редакцию 23 апреля 2019 г.