

**Минералого-технологические характеристики золота
из техногенных и природных образований россыпи Северного Урала**
(научный руководитель В. А. Наумов)

Изученная аллювиальная россыпь золота из Вагранской группы россыпей золота находится на восточном склоне Северного Урала в бассейне р. Сосьва. Вмещающие первичные золоторудные отложения представлены позднепротерозойскими океаническими осадками, россыпь – песчаными, валунными, глинисто-песчано-галечными и глинистыми осадками. Песчаная и валунно-гравийно-галечниковая фракции составляют (%) 77.3 от всей массы, илисто-глинистая – 18.6, валуны – 4.1. Золото в россыпи (данные 1960–1980-х гг.) представлено крупными и средними фракциями: +1 мм составляет (%) 60.6, +3 мм – 23.3, <0.1 мм – 0.2 [Штаркман, Наумов, 2013ф].

Целью работы было изучение минералого-технологических характеристик золота для сокращения его потерь в технологической схеме обогащения песков. Работы выполнены в рамках договора (2012 г.), ФЦП МОН РФ по теме «Разработка и внедрение в производство модульных технологий рационального использования водных ресурсов и экологически безопасной технологии разработки россыпей золота на Северном Урале» (шифр: «2013-1.5-14-515-0055-020») в 2013 г., а также по собственной инициативе авторов.

Было отобрано 60 проб общим объемом около 0.5 м³. Обнаружено около двух тысяч знаков золота. Изучены наиболее типичные и некоторые особенные частицы золота из природных осадков и продуктов его технологического передела в процессе гравитационного обогащения (текущих хвостов наклонных шлюзов, намывных отвалов, концентрационных столов, отсадочных машин, шлихо-обогажительной установки). Из технологических свойств частиц золота оценены: крупность, морфология, характер поверхности, химический состав и пробность, внутреннее строение.

Гранулометрический состав золота в исходных песках характеризуется преобладанием мелких фракций (1–0.25 мм) с заметным присутствием крупного (+1 мм) и весьма мелкого (0.25–0.1 мм). На разных участках разработки крупность золота заметно меняется.

В хвостах технологического передела установлено как относительно крупное, так и мелкое золото. В гранулометрическом спектре распределения золота намывных отвалов сокращена доля модальных классов, которые установлены в исходных песках. Распределение золота по крупности зависит от места отбора пробы по «конусу отвалов». В отвалах концентрационного стола и отсадочных машин обнаруживается золото разной крупности.

В россыпи преобладает уплощенное золото крупных классов. Его доля меняется по классам крупности и, в среднем, составляет около 75 %. Удлиненное и изометрическое золото встречаются примерно в равных количествах. Для классов частиц размером < 0.25 мм преобладает изометрическое и удлиненное золото. В хвостах обогатительных аппаратов преобладает золото уплощенное (чешуйчатое и листоватое), пористое и в сростках с кварцем. В хвостах концентрационного стола в классе 0.63–0.5 мм обнаружен сросток золота с магнетитом. Отмечен избирательный вынос таких золотинок, особенно крупной фракции.

Поверхность частиц крупного золота (класс +1 мм) россыпи крайне неровная с большим количеством борозд, царапин, наклепов, загибов, дыр и др. Для мелких классов характер поверхности варьирует от ровной и гладкой до бугорчатой, шероховатой, кавернозной. На поверхности золота из техногенных отвалов установлено обилие налетов, «рубашек» и пленок железистого, железисто-глинистого, титано-железисто-глинистого и медистого составов (рис. 1).

Для золота отвалов характерно большое количество различных включений и многочисленные пустоты, что говорит о крупных размерах включений, которые в процессе переноса, трения и соударений выкрашиваются из металла (рис. 2). Более мелкие по размерам включения (преимущественно кварца) остаются в золотишках. Включения в золоте существенно снижают его фактическую плотность и, тем самым, извлечение гравитационными способами обогащения. Об этом свидетельствуют замеры гидравлической крупности знаков золота, значения которой при наличии включений кварца почти в два раза ниже, чем для аналогичных частиц без включений.

Химический состав определен для двух десятков зерен золота из россыпи и намывных отвалов. Установлено высокопробное, серебристое, медисто-серебристое золото и электрум (табл.).

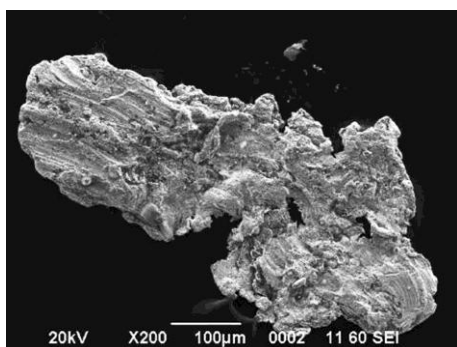


Рис. 1. Частица золота с рубашкой на поверхности. РЭМ. Фото Б. М. Осовецкого.

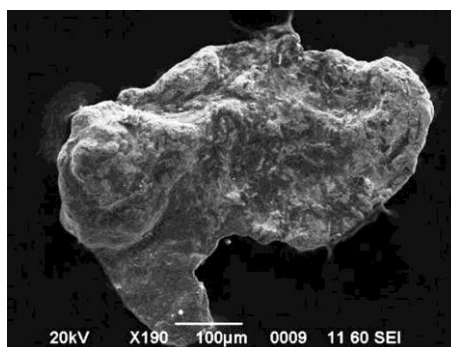


Рис. 2. Частица золота с пустотами и следами скольжения на поверхности. РЭМ. Фото Б. М. Осовецкого.

Таблица

Химический состав представительных частиц золота, мас. %

Элемент	Высокопробное золото			Серебристое золото			Медисто-серебристое золото	Электрум		
Au	96.4	97.43	98.81	93.38	93.95	95.67	89.75	79.77	70.11	78.7
Ag	1.13	0.52	1.07	3.35	4	4.12	7.07	17.67	28.25	19.68
Cu	0.32	–	0.12	0.48	0.28	0.21	2.34	–	0.23	0.77
Hg	–	–	–	0.46	–	–	–	–	–	–
As	–	0.19	–	–	–	–	–	–	–	–
Se	–	0.17	–	–	–	–	–	–	–	0.23
Ni	0.13	–	–	–	–	–	–	0.28	–	0.1
Pd	–	–	–	0.25	–	–	0.83	–	–	–
Fe	1.33	0.29	–	1.42	1.18	–	–	1.31	–	–
Al	0.69	0.5	–	0.67	0.59	–	–	0.97	0.46	0.52

Примечание. Анализы выполнены на электронном микроскопе JSM-6390 с EDS и WDS приставками под руководством Б. М. Осовецкого (ПГНИУ). Прочерк – элемент не установлен.

В россыпи высокопробное золото (950 ‰ и выше) отличается небольшой примесью прочих элементов (до 2 мас. ‰). Железо и алюминий содержатся в тонких поверхностных пленках на золоте. Серебристое золото характеризуется присутствием серебра 3–7 мас. ‰. Среди элементов-примесей появляются ртуть и палладий. Медисто-серебристое золото встречается редко. Для него характерно присутствие палладия. Доля низкопробного золота (700–800 ‰) составляет до 30 ‰ и возрастает в мелких классах. В техногенных отвалах существенно повышается доля серебристого золота и электрума. Такой металл имеет заметно более низкую плотность по сравнению с высокопробным золотом.

Для золота характерна микротрещиноватость, пористость. Это свидетельствует о наличии ослабленных зон внутри зерен и дефектности кристаллической структуры, что приводит к уменьшению реальной плотности частиц и способствует потерям в процессе гравитационного обогащения.

На основе анализа технологических характеристик золота и определения параметров, при которых золото поступает в техногенные отвалы, предложены технологические решения, направленные на сокращение потерь золота. В результате внедрения комплекса модульных технологий предприятием за 2013 г. дополнительно извлечено более 9 кг золота, а потери золота уменьшились на 6 ‰.

Мониторинг золотоносности намывных техногенных отвалов, проведенный в три этапа, подтвердил положительный эффект внедрения модульных технологий. По данным первого года исследований (2012 г., до внедрения модульных технологий) среднее содержание золота в головной части конуса отвалов радиусом 10 м составило 850 мг/м³. На этапе внедрения модульных технологий (2013 г.) содержание золота сократилось на порядок (63 мг/м³). Через год после внедрения модульных технологий (2014 г.) нами были подтверждены данные о сокращении потерь золота (28 мг/м³) [Наумов и др., 2015].

Таким образом, изучение минералого-технологических характеристик золота позволило внести направленные изменения в технологическую схему обогащения песков, а внедрение модульных технологий – существенно уменьшить потери золота.

Последующие преобразования золота в техногенных осадках (техногеогенез) в условиях перигляциальной зоны приведут к дополнительным изменениям поверхностных характеристик частиц золота [Горбунов, 2014]. Знание геологических условий и процессов преобразования частиц золота при техногеогенезе позволяет направленно формировать повышенные концентрации золота в техногенных условиях [Наумов, 1994; 2010]. В дальнейшем техногенные отвалы могут быть использованы как строительное сырье высокого качества с попутным извлечением мелких ценных минералов [Наумов и др., 2010а; 2010б].

Авторы признательны сотрудникам ООО «Вторичные драгоценные металлы» (г. Екатеринбург, г. Краснотурьинск). Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-05-96009.

Литература

Горбунов А. А. Техногенный литогенез золотоносных россыпей перигляциальной зоны // Геология в развивающемся мире. Пермь: ПГНИУ, 2014. Т.1. С. 9–11.

Наумов В. А. Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия // Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. Пермь: ПГУ, 2010. 42 с.

Наумов В. А. Процессы формирования и распределения концентраций благородных металлов в техногенных россыпях и отвалах Урала // Горный журнал. 1994. № 8. С. 39–50.

Наумов В. А., Аликин О. В., Горбунов А. А. и др. Мониторинг золотоносности намывных техногенных отвалов при внедрении комплекса модульных технологий на россыпи золота Северного Урала // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Пермь: ПГНИУ, 2015. Вып. 18. С. 272–277.

Наумов В. А., Лунев Б. С., Наумова О. Б. Геологические объекты с мелким и тонким золотом – важные источники минерального сырья // Естественные и технические науки. 2010а. № 1. С. 174–177.

Наумов В. А., Лунев Б. С., Наумова О. Б. Комплексное изучение и использование месторождений песка и гравия Пермского края // Перспективы науки. 2010б. № 3. С. 5–9.

Штаркман В. Л., Наумы В. А. Разработка и внедрение в производство модульных технологий рационального использования водных ресурсов и экологически безопасной технологии разработки россыпей золота на Северном Урале. Шифр «2013-1.5-14-515-0055-020». Отчет по НИР ФЦП РФ «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области технологий экологически безопасной разработки месторождений, добычи и переработки твердых полезных ископаемых». Екатеринбург, 2013ф.