

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ОТХОДОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ООО «СОВРУДНИК»*

Изучен вещественный состав хвостов из хвостохранилища ООО «Соврудник». Определены условия и возможности технологической переработки хвостов.

Ключевые слова: Красноярский край, вещественный состав хвостов, золотоносность, технология переработки.

Золотоизвлекающая фабрика ООО «Соврудник» расположена в Северо-Енисейском районе, в п. г. т. Северо-Енисейский в долине р. Безымянка. Предприятие специализируется на добыче рудного золота открытым способом и шахтным способом и переработке руды на золотоизвлекающей фабрике с получением конечного продукта в слитках. Основная база компании – золоторудные месторождения «Советское» и «Эльдорадо». Месторождения представлены золото-кварцевой (малосульфидной) формацией. В результате длительной эксплуатации фабрики вблизи п. г. т. Северо-Енисейский сформировано хвостохранилище, в которое уложено более 6,2 млн м³ хвостов. Площадь, занимаемая ложем хвостохранилища, составляет 0,4 млн м², максимальная высота 45...50 м, длина 2 500 м. Среднее содержание золота в рудных телах, перерабатываемых на фабрике, составляет 5 г/т. При этом потери золота, поступающего в отвал, составляют от 5 до 15 %, что соответствует среднему содержанию 0,1...0,3 г/т.

В 2010 г. ГПКК «КНИИГиМС» проведены исследования золотоносности хвостов из хвостохранилища ООО «Соврудник». В массиве лежалых хвостов впервые выявлены высокие концентрации золота, варьирующие от 2,5 до 18,8 г/т. Мощность горизонтов, обогащенных золотом, 6...8 м. Ресурсный потенциал для промышленного освоения оценивается не менее чем в 7 т.

Решение вопроса о применении метода технологического извлечения золота напрямую зависит от особенностей вещественного состава хвостов. Важными моментами являются определение фазового (минерального) состава исходного сырья, его структурных характеристик (размера минералов и характера их сростаний с другими минеральными фазами); изучение особенностей распределения извлекаемых элементов; определение свойств минералов, влияющих на процессы извлечения. Таким образом, исследование сложных минеральных объектов и возможности извлечения из них необходимых компонентов, к числу которых относятся и хвосты золотоизвлекающих фабрик, необходимо начинать прежде всего с изучения вещественного состава хвостов и выявления особенностей содержания в них золота.

Изучение особенностей распределения вещественного состава выполнялось в процессе обследования толщи хвостов, размещенных в хвостохранилище. Для получения фактического материала, отражающего особенности поведения вещества, слагающего толщу хвостов, вы-

полнено бурение массива на всю его мощность, с заглублением в подстилающие грунты на 2 м. Бурение выполнялось в пляжной зоне хвостохранилища. Общая мощность вскрытия техногенных отложений составила от 15 до 21 м.

Анализ проб выполнялся в аккредитованных лабораториях Института химии и химической технологии СО РАН, ГПКК «КНИИГиМС», ОАО «Иргиредмет». Для исследования минерального состава применялись методы рентгенофазового анализа (РФА), оптической микроскопии и электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-1000). Химический состав определялся с помощью атомно-эмиссионного спектрометра на индуктивно-связанной плазме (ИСП) АСТІВА-М и спектрального атомно-эмиссионного комплекса «ГРАНД». Определение содержания золота, серебра и платины выполнено с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ISP-MS), на приборе ELAN 9 000. Исследованию подвергнуто 200 проб, отобранных из хвостохранилища. С целью выбора оптимальной технологической схемы комплексного использования хвостов выполнены исследования гранулометрического состава с фиксацией золота по классам крупности, сцинтилляционный анализ для определения золота крупностью менее 25 мкм, рациональный анализ с определением форм нахождения золота.

В хвостохранилище ООО «Соврудник» выделено два типа хвостов: песчаные образования пляжной зоны и илистые отложения пруда-отстойника. Толща лежалых хвостов пляжной зоны имеет неоднородное строение, с четко выраженными двумя горизонтами. Верхний горизонт кремнистого типа, нижний горизонт кремнисто-железистого типа. Толща лежалых хвостов пруда-отстойника представлена илами кремнистого типа.

По минеральному составу основными порообразующими минералами хвостов пляжной зоны являются слюдястые образования и кварц. Доля кварца достигает 60 %, мусковита и хлорита до 35 %. В подчиненных количествах, до 5 %, присутствуют сульфиды. Хвосты нижних горизонтов пляжной зоны относятся к сульфидному типу с содержанием сульфидов до 33,9 % и включают пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пирротин. Характерной особенностью хвостов нижней части разреза является наличие горизонта, претерпевающего интенсивное гипергенное преобразование, в котором развиты вторичные

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (дополнительное соглашение № 01/10 от 27 мая 2010 г.).

минералы лимонит, скородит (питтицит), англезит, а также новообразованные формы гематита, сульфатов железа и свинца, самородной серы, гипса, гидроокислов железа.

Хвосты пруда-отстойника на 91,4 % состоят из слюдисто-гидроослюдистых образований и кварца. В хвостах нижних горизонтов пруда-отстойника доля рудных минералов не превышает 8,6 %, из них 8,2 % приходится на гидроокислы и сульфаты железа, скородит, а 0,4 % – на сульфиды.

Лежалые хвосты ООО «Соврудник» включают следующие микроэлементы: Ag, Au, As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, V, W, Zn. В хвостах пляжной зоны высокие валовые содержания Ag, Au, Pb, Cu, Zn, Co, V, Ni и их водорастворимые формы выявлены в основании массива хвостов, тесно сопряженного с горизонтом гипергенного преобразования отходов. В хвостах пруда-отстойника высокие валовые содержания Au, Sb, W и Mo выявлены в интервале от 9,5 до 13,5 м.

В результате изучения вещественного состава продуктивных на золото толщ выделено два типа золотоносных отходов: сульфидный тип хвостов, включающий горизонт гипергенного преобразования пляжной зоны, и глинисто-железистый тип хвостов пруда-отстойника.

Для исследования возможности переработки потенциальных золотосодержащих отходов отобрано две пробы. Проба 1 отобрана из гипергенного горизонта пляжной зоны, в интервале от 6 до 14 м. Содержание золота в пробе по результатам масс-спектрометрического анализа с индуктивно-связанной плазмой составило 6,14 г/т, по результатам пробирного анализа – 8,0 г/т. Проба 2 отобрана из лежалых хвостов пруда-отстойника, в интервале от 9,5 до 13 м. Содержание золота в пробе по результатам масс-спектрометрического анализа с индуктивно-связанной плазмой составило 1,07 г/т, по результатам пробирного анализа – 1,73 г/т.

По результатам гранулометрического исследования в обеих пробах подавляющее количество золота представлено мелкими и тонкими золотиными (класс крупности минус 0,07 мм): 98,7 % в пробе 1 и 100 % в пробе 2.

По результатам сцинтилляционного анализа установлено, что на долю золота в интервале крупности 3...25 мкм в пробе 1 приходится 57 %, а в пробе 2 – практически 100 % от общего содержания золота в них. Основная масса золота в интервале крупности 3...25 мкм (74,8 % в пробе 1 и 69,6 % в пробе 2) представлена золотиными размером 12...25 мкм. Средний расчетный диаметр золотинок изменяется в пределах 8,7...9,7 мкм.

По результатам рационального анализа на золото проб 1 и 2 (исходная крупность материала класса минус 0,071 мм пробы 1 составляла 50,8 %, а пробы 2 – 94,9 %) определены следующие формы нахождения золота: свободное (амальгамируемое); в виде сростков с рудными и породообразующими компонентами (цианируемое); извлекаемое цианированием после обработки соляной и азотной кислотами, а также тонко вкрапленное в породообразующие минералы и ассоциированное с вторичными минералами железа и мышьяка.

Частицы свободного золота имеют форму тонких пластинок с неровными краями и развальцованных чешуек, что обусловлено процессами техногенного воздействия. Размеры золотинок не более 0,15 мм. Цвет золотинок меняется

от желтого до ярко-желтого. Поверхность шероховатая, мелкобугорчатая. В более рельефных углублениях фиксируются тонкодисперсные массы силикатного состава серовато-белого цвета. Отмечаются участки с тонкими прерывистыми пленками гидроксидов железа (рис. 1). По результатам микрозондового анализа установлено, что в химическом составе минерала содержание золота составляет 95,9 %, серебра 4,1 %. Такое соотношение характерно для золотин из эксплуатируемых месторождений.

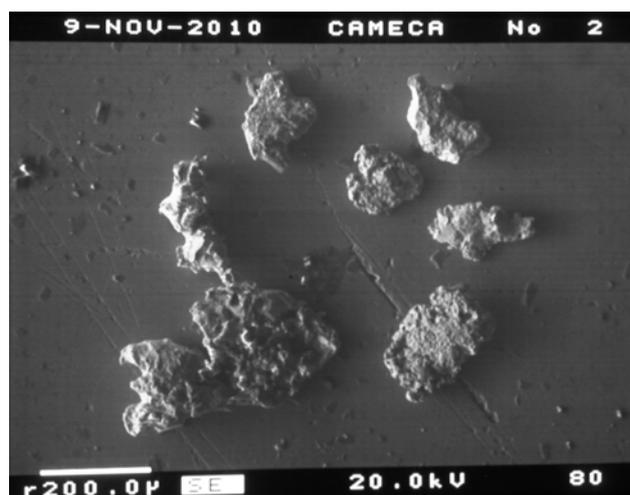


Рис. 1. Шагреновый характер поверхности свободных золотинок

Другие золотины обладают ячеистой, губчатой структурой поверхности. Ячеистые структуры по составу отличаются от основной золотины (рис. 2). В составе скелетных граней ячеек выявлено 96,3 % золота, отсутствует серебро при наличии 2,5 % алюминия, 1 % кремния и 0,2 % меди. Такой химический состав, а также форма поверхности самой золотины позволяет полагать, что стенки ячеек сформировались под воздействием гипергенных процессов при хранении золотины в массиве хвостов.

Золото в сульфидах фиксируется в сростках и включениях. В подавляющем большинстве золото фиксируется в арсенопирите и пирите, реже галените и сфалерите. Содержание золота в пирротине не установлено. Золото, заключенное в арсенопирите, имеет плотную однородную микроструктуру. Кроме этого, в арсенопирите отмечаются микровключения галенита (рис. 3). Рентгено-спектральным микроанализом установлено, что в арсенопирите золото присутствует в виде соединения Au–Ag. Частицы золота гомогенные и не содержат в своем составе других элементов (см. таблицу).

Ряд золотинок представлен в сростках с вторичными минералами и покрыт пленками гидроксидов железа, корочками и агрегатами сульфатов железа, меди, а также глинисто-железистыми массами (рис. 4). Микрозондовый анализ агрегатов, покрывающих золото, показал содержание в них золота 9,4 %, меди 1,6 %, железа 16,9 %, алюминия 72,1 %.

Данные рационального анализа, выполненного совместно с ОАО «Иргиредмет», показывают, что из пробы 1 сорбционным цианированием извлекается 84,0 %, из

пробы 2 – 89,9 % золота, из них на долю сростков с рудными и породообразующими компонентами приходится соответственно 62,7 и 63,3 % золота. При исходной крупности материала 3,1 % (проба 1) и 3,2 % (проба 2) массовая доля свободного (амальгируемого) металла составляет по пробам 1 и 2 – 21,3 и 26,6 %.

Упорное (не извлекаемое цианированием) золото в пробе 1 ассоциировано в основном с сульфидами (8,4 %), а также с комплексом минералов, растворимых в соляной

кислоте – гидроксидами железа, скородитом, пирротинном, хлоритами, карбонатами и пр. (5,9 %) и, в меньшей степени, с породообразующими минералами (1,7 %). Основной причиной технологической упорности к цианистому процессу пробы 2 является тонкая вкрапленность золота в породообразующие минералы (5,9 %) и его ассоциация с комплексом минералов, растворимых в соляной кислоте (3,0 %). Менее заметное влияние на упорность оказывает ассоциация благородного металла с сульфидами (1,2 %).

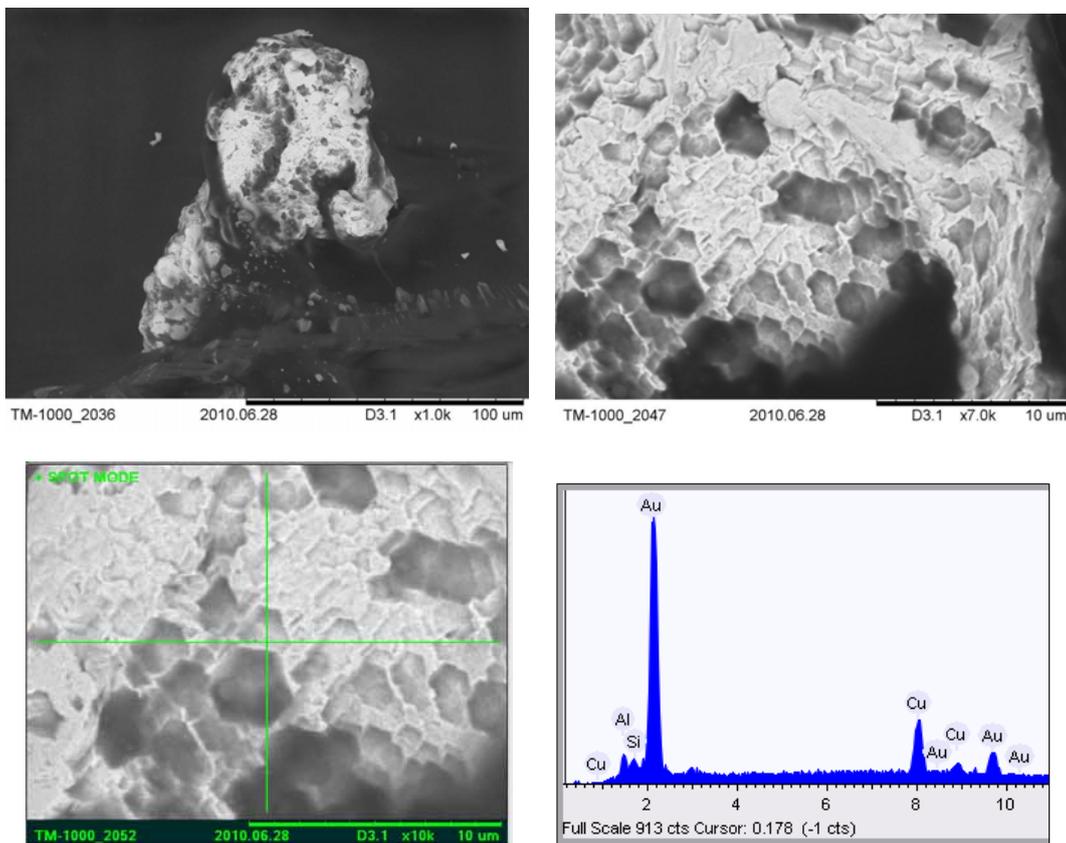


Рис. 2. Морфология поверхности золотин: морфология свободного золота (вверху слева); сотово-ячеистая поверхность золота (вверху справа); микрозондовый анализ ячеистой поверхности золота (внизу)

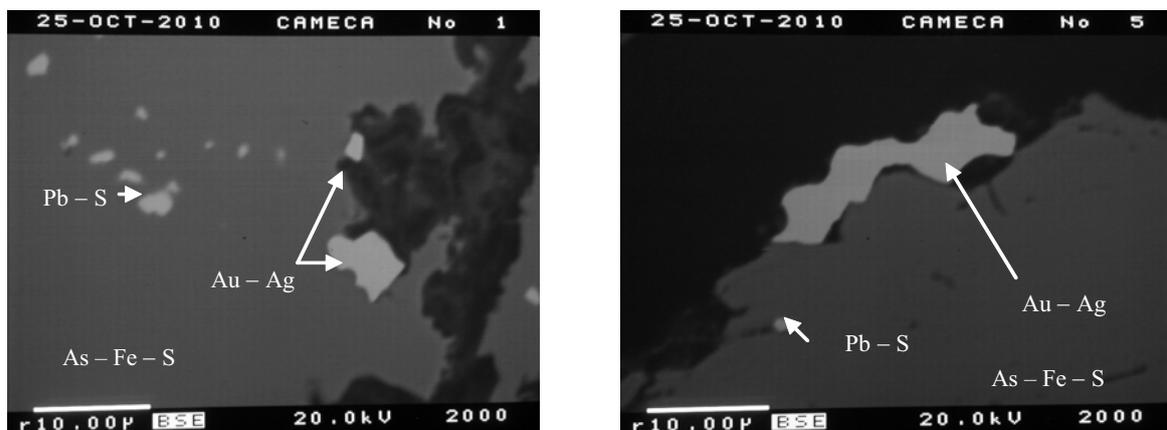


Рис. 3. Растровые снимки ассоциаций золота с арсенипиритом и галенитом. Обратные-рассеянные электроны

Результаты рентгеноспектрального микроанализа частиц золота

Массовая доля элемента, %	Номер золотины			
	1	2	3	4
Ag	9,9	9,2	15,6	12,6
Au	90,0	90,7	84,3	87,3

Рациональные анализы на исходной крупности материала хвостов показали, что извлечение цианированием составит в пробе 1 и пробе 2 соответственно 70,5 и 83,2 %. Практически 20 % золота в пробе 1 находится в виде тонкой вкрапленности в сульфидах, а 8 % – ассоциировано с вторичными минералами железа и мышьяка. В пробе 2 практически 8 % драгоценного металла тесно ассоциировано с породообразующими минералами, а 6 % – с гипергенными железо- и мышьяксодержащими образованиями.

Несмотря на имеющиеся отличия проб хвостов, в технологическом отношении они достаточно близки. При крупности измельчения 97 и 99 % класса минус 0,07 мм (соответственно пробы 1 и 2) из пробы 1 сорбционным цианированием извлекается 84,0 %, из пробы 2 – 89,9 % золота. Массовая доля свободного (амальгамируемого) металла составляет по пробам 1 и 2 – 21,3 и 26,6 %.

При исходной крупности материала количество свободного золота в пробе 1 – 3,1 %, в пробе 2 – 3,2 %, а доля золота, извлекаемого цианированием, – 70,5 и 83,2 % соответственно.

Основной причиной технологической упорности к цианистому процессу пробы 2 является тонкая вкрап-

ленность золота в породообразующие минералы (7,7 % при исходной крупности хвостов; 5,9 % – при доизмельчении до крупности 99 % класса минус 0,07 мм) и его ассоциация с комплексом минералов, растворимых в соляной кислоте (5,9 и 3,0 % соответственно).

Отходы производства могут перерабатываться по единой технологии. Извлечение золота на уровне 84...86 % из них возможно методом сорбционного цианистого выщелачивания после измельчения материала проб до крупности 97...98 % класса минус 0,07 мм.

Таким образом, впервые за 100-летний период эксплуатации данного хвостохранилища в разрезе толщи песков, расположенных в пляжной зоне, выявлены высокие концентрации золота от 1 до 18,8 г/т при мощности обогащенных хвостов от 6 до 8 м. В иловых осадках обнаружены высокие концентрации золота на уровне 1,0...1,75 г/т при мощности горизонта 3,5 м. При этом методом сорбционного цианистого выщелачивания по технологической схеме возможно извлечение золота на уровне 84...86 %, что обеспечивает возможность вторичного переработания золотосодержащих хвостов.

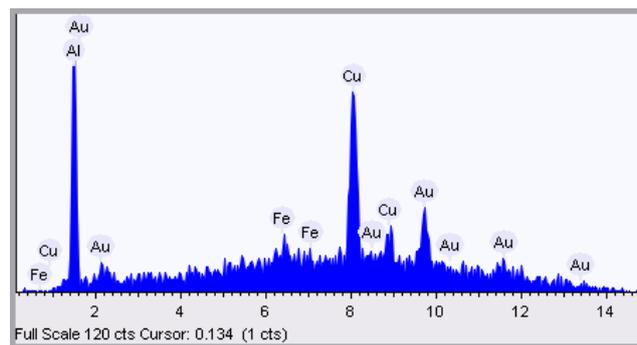
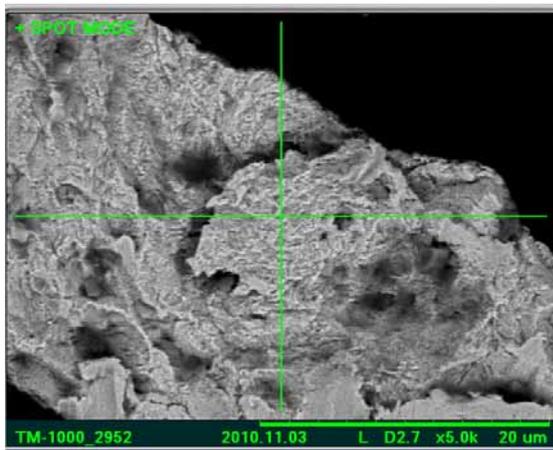


Рис. 4. Микрондовый анализ гидроокислов на поверхности свободной золотины

I. N. Tselyuk, D. I. Tselyuk

TECHNOLOGICAL FEATURES AND THE PROSPECTS FOR EXTRACTION OF GOLD FROM TAILINGS WASTE «SOVRUDNIK»

The material composition of the tails of tailings «Sovrudnik» is studied. The conditions and possibilities of tails technological processing are defined.

Keywords: Krasnoyarsky kray, material composition, tails, gold content, processing technology.

© Целюк И. Н., Целюк Д. И., 2010