

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

5. 2014

В номере:

- Коммерциализация инновационной технологии производства наногафния (с. 7)
- Автоклавные процессы в гидрометаллургии платиновых металлов (с. 39)
- Электрохимический синтез диборида титана из криолитовых расплавов на угольном электроде (с. 44)
- Изготовление деформированных изделий с использованием лома и отходов алюминиевых сплавов (с. 66)

Анализ потерь благородных металлов и рациональные методы их снижения при разработке россыпных месторождений¹

УДК 622.75/.77: 622.342

Т. Н. Александрова, Н. М. Литвинова, А. В. Александров, С. А. Корчевенков, Р. В. Богомяков*

Рассмотрены особенности технологического развития россыпной золотодобычи на Дальнем Востоке России и основные факторы, влияющие на эффективность процесса извлечения золота. Разработаны методы интенсификации процессов извлечения тонкодисперсного золота из песков россыпей минерального сырья путем повышения эффективности гравитационных процессов.

Ключевые слова: золото, платина, анализ потерь, винтовая сепарация, агломерационная флотация, сорбенты, тонкодисперсные частицы, модификация поверхности.

По экспертным оценкам и многочисленным литературным данным старательские артели, использующие традиционные промысловые приборы, теряют от 20 до 50 % металла. Исследованиями научных коллективов и производственных организаций установлено, что доля мелкого и тонкого золота (МТЗ) в техногенных отвалах, как правило, преобладает над крупным и составляет до 90 % общего объема. Ресурсы мелкого и тонкого золота только в техногенных россыпях РФ оценивают в несколько тысяч тонн. Основные потери при добыче россыпного золота приходится на мелкое, тонкое, пластинчатое и дисперсное. Проблема извлечения мелких и тонких частиц актуальна также для россыпных месторождений металлов платиновой группы (МПГ). Так как платина и золото имеют схожие свойства (плотность, мягкость, морфология частиц), то проблему МТЗ нужно рассматривать совместно с проблемой мелкой и тонкой платины. На предприятиях ее решают в основном путем совершенствования традиционных технологических схем: применением

шлюзов мелкого наполнения; отсадочной технологии; центробежной сепарации. Однако реализация этих направлений не решает проблемы извлечения тонкодисперсного золота. Отсадочная технология из-за своей громоздкости и низкой (по сравнению со шлюзами) производительности вряд ли будет широко востребована на существующих техногенных россыпях в нынешней экономической ситуации. Не менее важной является и переработка концентрата, так как при его доводке можно упустить золото и значительно снизить эффективность работы всей установки. Необходимость доизвлечения золота из техногенных россыпей определяется пока только экономическими требованиями (золото не должно быть дороже золота), но при этом необходимо учитывать интересы землепользователей, требования охраны окружающей среды и попутно извлекать техногенную ртуть и другие токсичные элементы. Для анализа причин технологических потерь и разработки методов их снижения на основе обобщения эмпирического материала и литературных данных [1] использованы методы управления качеством «Диаграмма Исикавы» и диаграммы рассеивания [2]. Диаграмма Исикавы способствует определению главных факторов, оказывающих наиболее значительное влияние на развитие рассматриваемой проблемы, а также предупреждению или устранению действия данных факторов [2]. Графическая интерпретация диаграммы влияния основных факторов на потери благородных металлов приведена на рис. 1.

Влияющие факторы сгруппированы в соответствии с принципом «6M's+E» (свое название принцип получил по первым буквам соответствующих английских слов) — основные влияющие факторы

¹Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг. по теме «Исследование процессов физико-механических и химических воздействий на минеральное и техногенное сырье с целью снижения энергетических затрат в технологиях обогащения», гос. контракт № 14.515.11.0066.

* Т. Н. Александрова, зав. каф. обог. полез. ископ., эл. почта: IGD@rambler.ru, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург; Н. М. Литвинова, исп. обяз. зав. лаб.; А. В. Александров, проф., Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН (ИГД ДВО РАН); С. А. Корчевенков, аспирант, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»; Р. В. Богомяков, мл. науч. сотр., ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия.

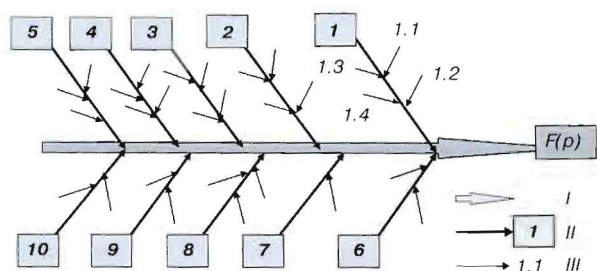


Рис. 1. Графическая интерпретация диаграммы Исикавы. Условные обозначения: I — целевая функция потерь благородных металлов; II — первичные стрелки-факторы; III — стрелки-факторы второго порядка (влияющие на первичные факторы); $F(p)$ — функция потерь благородных металлов (доли ед.)

можно разделить на несколько групп: man (влияние человека); machine (влияние оборудования); method (влияние методов работы); materials (влияние материалов, сырья, заготовок); measurement (влияние измерительной системы); management (влияние менеджмента); environment (влияние окружающей среды) [2].

С использованием метода корреляционного анализа определены весовые коэффициенты диаграммы Исикавы, учитывающие влияние различных факторов на целевую функцию потерь благородных металлов (таблица).

Использование разработанных диаграмм позволяет прогнозировать уровень извлечения металла и определять область первоочередных мер для повышения эффективности процессов извлечения и снижения нагрузки на окружающую среду.

Показано, что основными объективными и субъективными факторами, влияние которых на потери металла можно реально учесть, являются:

- первичное содержание драгметалла в песках;
- гранулометрический состав металла и его морфология;
- количество тяжелых минералов (шлиха) в исходных песках;
- гранулометрический состав исходных песков и др.

Важным фактором, предопределяющим технологию извлечения, является форма и природа уносимого с потоком мелкого и тонкого золота. Кроме самородного металла в техногенных объектах встречаются и связанные формы: сростки с породой, сульфиды, арсениды. На ряде объектов установлено присутствие диспергированной амальгамы, которая имеет выраженные магнитные и ферромагнитные свойства за счет растворения техногенного скрапа.

Эффективное извлечение золота и МПГ из техногенных россыпных месторождений возможно

при комплексном подходе к данной проблеме. С одной стороны, необходимы систематизация данных исследований по вещественному составу техногенных месторождений, выявление основных закономерностей извлечения мелкого и тонкого золота и металлов платиновой группы; с другой стороны, создание способов интенсификации извлечения мелкого тонкого золота и МПГ на основе новых технологий.

Основные методы снижения потерь мелкого и тонкого золота и МПГ из россыпей можно разделить на три основных направления.

Первое направление. Интенсификация гравитационных методов обогащения (отсадки, винтовой сепарации, центробежной сепарации) и адаптация технологических схем для тяжелых условий эксплуатации, в которых по большей части приходится работать предприятиям. Работы по введению отсадочной и центробежной технологии ведут институт «Иргиредмет» и некоторые производственные компании, внедрением винтовых аппаратов занимается институт «ВостСибНИИГиМС» и компания «Спирит».

Оценку возможности применения винтовой сепарации и отсадки для повышения эффективности извлечения мелкой платины проводили на материалах техногенных отвалов месторождения Кондер [3].

В процессе исследований решали многие задачи, в частности:

- определение содержания платины в исследуемых пробах как по подсчету выделенных знаков платины и золота, так и по аналитическому их выявлению в продуктах обогащения;
- исследование обогащения продуктивного класса песков; при этом первичную концентрацию металлов осуществляли по двум вариантам технологических схем — с винтовой сепарацией и с отсадкой.

В первом варианте технологической схемы использовали обогатительную установку, состоящую из четырехвиткового винтового сепаратора, пескового насоса, зумпфа, системы трубопроводов для подачи пульпы на аппарат. Производительность по твердому в питании винтового сепаратора составила 500–550 кг/ч при содержании твердого 25–30 %. Черновой гравеоконцентрат состоял из объединенных концентратов, полученных в основной и контрольной винтовой сепарации.

Во втором варианте технологической схемы была использована диафрагмовая лабораторная отсадочная машина с площадью решета 380 см².

Для изучения морфологии, определения гранулометрического состава из полученных концентратов провели выборку зерен шлиховой платины. Шлиховая платина — условно принятое название

извлеченных зерен минералов МПГ. Фотографии извлеченной платины приведены на рис. 2.

Во всех продуктах обогащения определено содержание металлов пробирно-атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой.

Применение технологии винтовой сепарации с целью первичной концентрации металла позволяет достигнуть извлечения платины в концентраты винтовой сепарации, %: 91,0; 85,31; 81,56 соответственно по пробам № 4, 5, 6. При первичной

Весовые коэффициенты диаграммы Исикава, учитывающие влияние различных факторов на целевую функцию потерь благородных металлов		
Уровни проявленности фактора	Номер фактора	Весовое значение коэффициента
Морфология частиц:	1	0,18
тонкая пластинчатая (–0,5 мм)	1.1	0,040
мелкая уплотненная (+0,5–1,0)	1.2	0,039
средняя уплотненная (+1–2,0)	1.3	0,037
крупная уплотненная (+2–8,0)	1.4	0,031
Первичные содержания металла в песках, г/м ³ :	2	0,114
0,2–0,89	2.1	0,028
0,9–2,0	2.2	0,026
2,1–5,0	2.3	0,029
с аномальным содержанием более 5	2.4	0,031
Содержание тяжелых минералов (шлиха) в промываемых песках, %:	3	0,199
не более 10	3.1	0,028
11/30	3.2	0,031
31–50	3.3	0,056
более 50 % — требует изменения технологии промывки	3.4	0,084
Гранулометрический состав песков (для эфелей), %:	4	0,099
до 20	4.1	0,025
в среднем 40	4.2	0,028
в среднем 60 (повышенная)	4.3	0,010
1–3 уровни, содержащие глинистый материал	4.4	0,036
Особенности строения плотика россыпей:	5	0,096
разрушенные, легко вовлекаемые в отработку породы	5.1	0,026
плотные, крупно-глыбово-трещиноватые породы, трудноовлекаемые в переработку	5.2	0,036
разрушенные плитки со слепыми трещинами, заполненные золотоносным песком	5.3	0,034
Конструктивные особенности оборудования:	6	0,095
вашгерды и другие приборы с одностадиальной дезинтеграцией	6.1	0,047
гидроэлеваторы и другие приборы с двухстадиальной дезинтеграцией	6.2	0,048
Человеческий фактор:	7	0,031
этап нормально-устойчивой промывки	7.1	0,031
Оборудование, используемое для доводки шлихов:	8	0,072
ручная доводка	8.1	0,038
отдельные концентрационные столы	8.2	0,026
полноценные технологические линии, для которых потери минимальны	8.3	0,008
Временной период промывки песков:	9	0,065
северные районы	9.1	0,031
южные районы	9.2	0,034
Послеотрабочные мероприятия:	10	0,1038
без рекультивации	10.1	0,028
с рекультивацией	10.2	0,0758

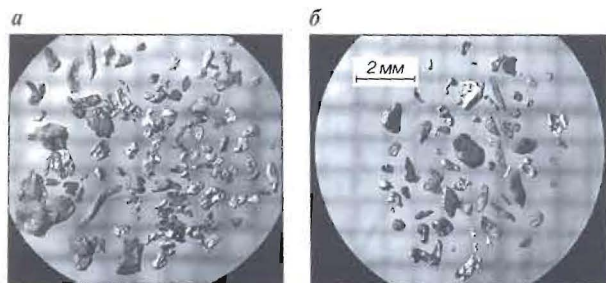


Рис. 2. Фото шлиховой платины, выделенной разными способами основной концентрации:
а — с применением винтовой сепарации; б — по отсадочной технологии

концентрации платины с использованием отсадки извлечение платины в концентраты составило, %: 90,56; 81,43; 79,44, что несколько ниже, чем при технологии винтовой сепарации.

На основании экспериментальных данных установлено соотношение платины, извлеченной при технологиях с отсадкой и винтовой сепарацией (рис. 3).

Анализ данных показывает, что извлечение платины в случае применения винтовой сепарации растет с уменьшением класса крупности, а по отсадочной технологии наблюдается обратный процесс.

Принимая во внимание ухудшение горно-геологических характеристик обрабатываемого и перспективного участков россыпи, увеличение в нижних участках россыпи Уоргалан доли мелкой платины до 50 % от общих запасов, а также неучтенную при геолого-разведочных работах тонкую платину, наиболее перспективным способом основной концентрации платины для техногенных отвалов месторождения Кондер является винтовая сепарация.

Второе направление. Выщелачивание техногенных отвалов и подготовленных полигонов исходных песков растворами различных химических соединений и растворами, содержащими штаммы специально выращенных бактерий. Исследовательские работы в данном направлении ведут институты «Иргиредмет», МИСиС и пр.), возможна адаптация рудных схем выщелачивания для россыпных месторождений, в частности ЗАО «Полюс» успешно освоило технологию бактериального выщелачивания на Олимпиадинском ГОКе и вполне возможна инженеринговая реализация технологии биовыщелачивания на россыпных объектах ЗАО «Полюс» [4].

Третье направление. Исследование возможности применения флотосорбционного процесса для доизвлечения мелкого и коллоидного золота. Использование сорбентов при флотационном обогащении золотосодержащих материалов является перспективным направлением, позволяющим снизить потери тонкодисперсного золота из шламистых фракций.

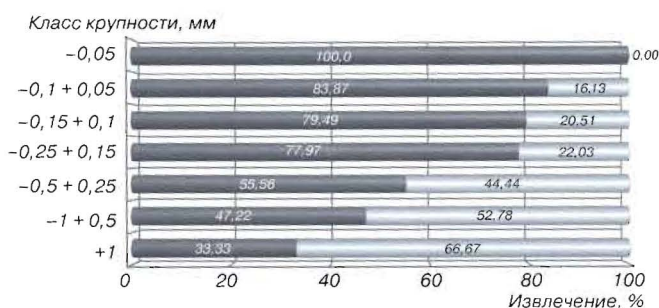


Рис. 3. Соотношение платины, извлеченной по технологиям с винтовой сепарацией (1) и отсадкой (2)

В ИГД ДВО РАН проводят изучение механизма сорбции тонких шламов на поверхности носителя, исследования, направленные на поиск эффективных сорбционных носителей для повышения технологических показателей шламистых золотосодержащих материалов, модификации поверхности сорбционных носителей [5, 6]. Процесс флотации проходил с предварительным введением сорбента перед кондиционированием пульпы со стандартными реагентами: бутиловым ксантогенатом калия — 100 г/т, вспенивателем Т-80 — 40 г/т. Кроме того, для повышения гидрофобных свойств и сорбционной емкости сорбента проводили его модификацию с помощью термической и химической обработки [7, 8].

Термообработку осуществляли путем обжига сорбентов в муфельной печи при температурах 160–220 °С. В ходе исследований выявлено, что оптимальная температура обжига для получения гидрофобного материала — 200 °С. Извлечение золота во флотационный концентрат с использованием сорбента, подвергнутого термообработке при 200 °С, повышается на 10 %. Химическую обработку сорбента осуществляли с использованием реагента на основе комплекса кислот жирного ряда: 51–57 % линолевой; 23–29 % олеиновой; 4,5–7,3 % стеариновой; 3–6 % линоленовой; 2,5–6,0 % пальмитиновой; 0,9–2,5 % арахисовой; до 0,1 % гексадеценновой; 0,1 – 0,4 % миристиновой при расходе от 50 до 200 г/т. В ходе исследований установлен оптимальный расход комплексного реагента 50–100 г/т. На основании анализа экспериментальных данных выявлено, что химическая обработка сорбента при расходе 50–100 г/т дает прирост извлечения золота на 15 %.

Таким образом, показана целесообразность применения технологии винтовой сепарации для концентрации металла — извлечение платины в концентрат достигает 91 %. Применение сорбционного процесса при флотации золотосодержащих шламистых материалов позволяет повысить извлечение тонкодисперсных и коллоидных частиц золота в концентрат до 15 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александрова Т. Н. Проблемы извлечения тонкодисперсного золота из песков техногенных россыпей и некоторые пути их решения // Золотодобыча. 2010. № 141. С. 21–26.
2. Масааки Имаи. Гемба Кайдзен. Путь к снижению затрат и повышению качества: пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. — 346 с.
3. Корчевенков С. А. К вопросу извлечения мелкой платины из песков россыпей с использованием гравитационных процессов // Горный информ.-аналит. бюл. 2013. № 7. С. 19–21.
4. Живаева А. Б., Башлыкова Т. В., Тельнова О. П., Калинин Л. С. Биотехнология нерудного сырья // Цветные металлы. 2007. № 3. С. 57–60.
5. Александрова Т. Н., Литвинова Н. М., Богомяков Р. В. К вопросу извлечения мелкодисперсного золота из песков россыпных месторождений // Горный информ.-аналит. бюл. 2011. № 2. С. 319–323.
6. Александрова Т. Н., Александров А. В., Литвинова Н. М., Богомяков Р. В. Обоснование и разработка методов снижения потерь при обогащении золотосодержащих глинистых россыпей Хабаровского края // Физ.-техн. пробл. разработки полез. ископ. 2013. № 2. С. 182–190.
7. Пат. 2465962 РФ, МПК⁵¹ B 03 D 1/00. Флотационно-адсорбционный способ извлечения ультрадисперсных частиц из золотосодержащего сырья / Александрова Т. Н., Александров А. В., Литвинова Н. М., Богомяков Р. В.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН. — № 2011107638/03; заявл. 28.02.2011; опубл. 10.11.2012, Бюл. № 31. — 5 с.
8. Пат. 2426596 РФ, МПК⁵¹ B 03 D 1/00. Способ флотационного извлечения золота при обогащении золотосодержащих глинистых песков / Александрова Т. Н., Рассказов И. Ю., Литвинова Н. М., Богомяков Р. В.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН. — № 2010105472; заявл. 15.02.2010; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23. — 5 с.

ЦМ

ANALYSIS OF LOSSES OF NOBLE METALS AND RATIONAL METHODS OF THEIR DECREASING IN THE TIME OF DEVELOPMENT OF PLACERS

Information about authors

T. N. Aleksandrova¹, Head of a Chair of Concentration of Mineral Resources, e-mail: IGD@rambler.ru
N. M. Litvinova², Acting Head of Laboratory
A. V. Aleksandrov², Professor
S. A. Korchevenkov¹, Post-Graduate Student
R. V. Bogomyakov², Junior Researcher

¹National Mineral Resources University, Saint Petersburg, Russia.

²Institute of Mining of Far-Eastern Department of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Mining-geological conditions of placer deposits' exploitation are getting worse every year. Low-grade ores containing fine gold and platinum group metals are involved in the processing. This article gives the research results of the possibility of spiral separation and jigging technology application as the main processes for concentration of fine particles of "Konder" placer deposit productive fraction. The main factors, making an influence on noble metal losses, were established on the basis of analysis of reasons and development of methods of decreasing of technological losses by application of quality control methods (Isikava diagram). As a result of experimental research, there was established that the sorbent application for floatation concentration of gold-containing materials makes possible to decrease fine gold losses in slime fractions. Modification of the surface of sorbents, which have not inherent sorption activity, allows to increase their sorption capacity and to enhance fine gold extraction to the concentrate. Thermal and chemical processing was applied for sorbents' modification. There was established an optimal firing temperature for the growth of sorbent quality characteristics (200 °C). Optimal consumption of reagent on the basis of fatty acids complex for chemical processing is 50–100 g per ton. Application of sorption processes during the gold-bearing slime materials' floatation makes possible to increase the extraction of fine and colloidal gold particles to the concentrate of up to 15%.

Key words: gold, platinum, loss analysis, spiral separation, agglomeration floatation, sorbents, fine particles, surface modification.

References

1. Aleksandrova T. N. *Zolotodobycha — Gold Mining*. 2010. No. 141. pp. 21–26.
2. Masaaki Imai. *Gemba Kaizen. Put k snizheniyu zatrat i povyseniyu kachestva* (Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management): translated from English. Moscow: Alpina Business Books, 2005. 346 p.
3. Korchevenkov S. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten — Mining Information and Analytical Bulletin*. 2013. No. 7. pp. 19–21.
4. Zhivaeva A. B., Bashlykova T. V., Telnova O. P., Kalinichenko L. S. *Tsvetnye Metally — Non-ferrous metals*. 2007. No. 3. pp. 57–60.
5. Aleksandrova T. N., Litvinova N. M., Bogomyakov R. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten — Mining Information and Analytical Bulletin*. 2011. No. 2. pp. 319–323.
6. Aleksandrova T. N., Aleksandrov A. V., Litvinova N. M., Bogomyakov R. V. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh — Journal of Mining Science*. 2013. No. 2. pp. 182–190.
7. Aleksandrova T. N., Aleksandrov A. V., Litvinova N. M., Bogomyakov R. V. *Flotatsionno-adsorbtsionnyy sposob izvlecheniya ultradispersnykh chastits iz zolotosoderzhashchego syrya* (Flotation-adsorption method of extraction of ultra-dispersion particles from gold-containing raw materials). Patent RF, No. 2465962, MPK⁵¹ B 03 D 1/00. Applicant and Patent Holder: Institute of Mining of Far Eastern Department of Russian Academy of Sciences. No. 2011107638/03. Applied: February 28, 2011. Published: November 10, 2012. Bulletin No. 31. 5 p.
8. Aleksandrova T. N., Rasskazov I. Yu., Litvinova N. M., Bogomyakov R. V. *Sposob flotatsionnogo izvlecheniya zolota pri obogashchenii zolotosoderzhashchikh glinistykh peskov* (Method of flotation extraction of gold with concentration of gold-containing clay sands). Patent RF, No. 2426596, MPK⁵¹ B 03 D 1/00. Applicant and Patent Holder: Institute of Mining of Far Eastern Department of Russian Academy of Sciences. No. 2010105472. Applied: February 15, 2010. Published: August 20, 2011. Bulletin No. 23. 5 p.