

Оригинальная статья / Original article

УДК 622.7

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-1-126-136>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ЗОЛОТОПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

© В.П. Мязин^а, С.А. Литвинцев^б

^{а,б}Забайкальский государственный университет,
672039, Российская Федерация, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30.

РЕЗЮМЕ. Цель. Разработка эффективной технологии переработки комплексных полиметаллических руд на основе усовершенствования процесса гравитационного выделения золота в головке технологической линии. **Методы.** При выполнении данной работы использованы аналитические и экспериментальные методы исследований: химический и пробирный методы анализа исходного сырья и продуктов обогащения, гранулометрический анализ, экспериментальные исследования на гравитационном лабораторном и промышленном оборудовании, методы статистической обработки экспериментальных данных и математического моделирования. **Результаты.** По результатам исследований установлено, что при прямом гравитационном обогащении исследуемой руды получены достаточно хорошие показатели по уровню извлечения ценных компонентов. Извлечение золота в черновой гравитационный концентрат колеблется в пределах 27,57–36,48 %, серебра – 14,79–22 %, свинца – 14,66–7,94 %. Следует отметить, что наиболее высокое извлечение золота было достигнуто при обогащении руды на отсадочной машине с модернизированной конструкцией камеры. На основании проведенных исследований установлена принципиальная возможность повышения извлечения ценных компонентов в концентрат гравитации: золота – до 3 %, серебра – до 7,5 %, свинца – до 3,8 %. Ожидаемый экономический эффект от внедрения предлагаемых технических решений составит 129562579 рублей.

Ключевые слова: гравитационное обогащение, отсадочная машина, извлечение, ценный компонент, золото, серебро, свинец, концентрат.

Информация о статье. Дата поступления 30 января 2018 г.; дата принятия к печати 5 марта 2018 г.; дата онлайн-размещения 30 марта 2018 г.

Формат цитирования. Мязин В.П., Литвинцев С.А. Повышение эффективности гравитационного извлечения золота из комплексных золотополиметаллических руд // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 1. С. 126–136. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-1-126-136

IMPROVING EFFICIENCY OF GOLD RECOVERY FROM COMPLEX GOLD-POLYMETALLIC ORES BY GRAVITY SEPARATION

© V.P. Myazin, S.A. Litvintsev

Transbaikal State University,
30, Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russian Federation

^аМязин Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, e-mail: myazinvpchita@mail.ru

Viktor P. Myazin, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Mineral Processing and Secondary Raw Materials, e-mail: myazinvpchita@mail.ru

^бЛитвинцев Сергей Андреевич, аспирант кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, e-mail: sergeylitvincev84@yandex.ru

Sergey A. Litvintsev, Postgraduate student of the Department of Mineral Processing and Secondary Raw Materials, e-mail: sergeylitvincev84@yandex.ru

ABSTRACT. The **Purpose** of the paper is development of an efficient technology for complex polymetallic ore processing based on the improved gold gravity separation in the head of the production train. **Methods.** The following analytical and experimental methods are used: chemical and fire assay analyses of the feed and concentrate, size fraction analysis, bench scale and pilot plant gravity tests, statistical analysis of experimental data and mathematical modeling. **Results.** The study results show that the direct gravity concentration provides relatively good recovery of valuable components. The recovery of gold to the primary gravity concentrate varies from 27.57 to 36.48 %, silver from 14.79 to 22 % and lead from 14.66 to 27.94 %. The highest recovery of gold was achieved under ore dressing using a modernized jiggling box. The conducted studies show that there is a possibility in principle to increase the recovery of valuable component to the gravitation concentrate. In this case the recovery of gold to the gravity concentrate may be increased by 3 %, silver by 7.5 %, lead by 3.8 %. The expected economic effect from the introduction of the proposed technical solution will estimate RUB129,562,579.

Keywords: gravity concentration, jig, recovery, valuable component, gold, silver, lead, concentrate

Article info. Received 30 January 2018; accepted for publication 5 March 2018; available online 30 March 2018.

For citation. Myazin V.P., Litvintsev S.A. Improving efficiency of gold recovery from complex gold-polymetallic ores by gravity separation. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits], 2018, vol. 41, no. 1, pp. 126–136. (In Russian). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-1-126-136

Введение

Полиметаллические золотосодержащие руды являются весьма сложным объектом обогащения, помимо основных металлов они содержат золото, серебро и другие элементы, существенно повышающие товарную стоимость руды. Поэтому основной задачей обогащения является максимальное извлечение всех ценных компонентов, входящих в состав руд.

Технология извлечения золота из полиметаллических руд осложняется тем, что условия, оптимальные для извлечения минералов цветных металлов, не всегда бывают благоприятными для извлечения золота. Например, необходимое для полного раскрытия ценных компонентов более тонкое измельчение руды или продуктов обогащения приводит к значительным потерям свободного золота с отвальными хвостами и технологическими продуктами вследствие его переизмельчения.

Решение задач обогащения полиметаллических руд также затрудняется широким диапазоном колебаний содержания полезных компонентов в рудах, неравномерной и тонкой вкрапленностью ценных компонентов, наличием в рудах

большого количества глины и первичных шламов. При этом золото трудно извлекается традиционными гравитационными методами с использованием центробежных концентраторов, отсадочных машин, винтовых сепараторов и короткоконусных гидроциклонов. В этих условиях разработка и усовершенствование технологий и аппаратов для выделения гравитационно извлекаемого золота из комплексных полиметаллических руд является одной из актуальных задач.

Объектом исследования в данной работе являются полиметаллические руды Ново-Широкинского месторождения. Технологические исследования были выполнены на пробе текущей добычи.

Методы исследований

При выполнении работы использованы аналитические и экспериментальные методы исследований: химический и пробирный методы анализа исходного сырья и продуктов обогащения, гранулометрический анализ, экспериментальные исследования на гравитационном лабораторном и промышленном оборудовании, методы статистической обработки экспериментальных данных и математического моделирования.

Результаты

Методика проведения исследований включала изучение вещественного состава, оценку раскрываемости основных рудных минералов и целесообразности применения различных гравитационных аппаратов для выделения гравитационно извлекаемого золота из руды.

По данным минералогических исследований, исследуемая проба руды более чем на 90 % представлена породообразующими минералами. Основными из них являются кварц (41,1 %), доломит (22,3 %), мусковит и иллит (12,4 %), ортоклаз (7,9 %), в меньшем количестве присутствуют альбит, каолинит и хлорит. Сульфидная минерализация представлена пиритом, сфалеритом, галенитом, тетраэдритом и буланжеритом [1].

Золото отмечается в виде как свободных частиц, так и сростков с сульфидами и нерудными минералами. Размер золотин варьирует от 10 до 200 мкм. Исследуемая руда характеризуется неравномерным распределением золота по гранулометрическим фракциям, наибольшее количество золота содержится в классах -2,0...+1,0 мм (54,45 %) и -1,0...+0,5 мм (24,69 %).

По фазовому составу основная часть золота (30 %) находится в свободной (гравитируемой) форме и в открытых сростках (45 %).

Для предварительной оценки гравитационной обогатимости исследуемой пробы руды был выполнен гравитационный анализ, по результатам которого были установлены прогнозные технологические показатели обогащения и проанализирована раскрываемость ценных компонентов в исходной руде.

Исследования по обогащению руды проводились на стандартном лабораторном оборудовании, винтовом сепараторе СВ-300 и центробежном концентраторе Knelson MD-3.

Исследования по отсадке были выполнены на специально разработанной

лабораторной установке. Установка сконструирована на базе лабораторной диафрагмовой отсадочной машины, основным отличием от которой является применение камеры специальной конструкции (рис. 1).

В камере дополнительно установлено решето (сито), между решетом и установленным ситом размещаются полиуретановые шары, а сверху на сите – искусственная постель (металлическая дробь). На разработанную конструкцию получен патент на полезную модель [2].

Результаты исследований по сравнительной оценке, эффективности использования различных гравитационных аппаратов для выделения свободного золота из комплексных руд представлены графически на рис. 2.

Результаты выполненных тестов подтвердили целесообразность применения гравитационной технологии для переработки исследуемой пробы руды Ново-Широкинского месторождения. Извлечение золота в черновой гравитационный концентрат колеблется в пределах 27,57–36,48 %, серебра – 14,79–22 %, свинца – 14,66–27,94 %.

Для повышения эффективности выделения свободного золота отсадкой в цикле первичного обогащения золотополиметаллических руд изучено влияние основных конструктивных и гидродинамических факторов на работу отсадочных машин.

Для определения оптимальной крупности руды для отсадки проведены тесты на пробах руды, измельченных до крупности 30 (P_{80} - 1 мм), 40, 60, 70 и 80 % класса -0,071 мм.

Оценка влияния крупности исходной руды на показатели отсадки выполнена при двух режимах работы отсадочных машин: режим 1 – базовый; режим 2 – с использованием модернизированной конструкции камеры.

Зависимости извлечения золота, свинца и серебра от крупности исходной руды представлены на рис. 3–5.

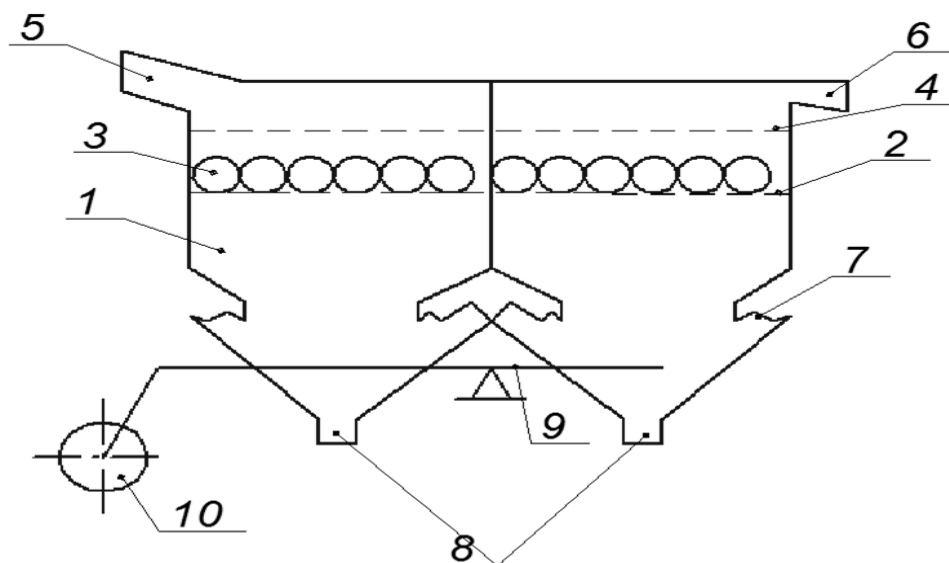


Рис. 1. Лабораторная установка с усовершенствованной камерой

1 – камера; 2 – поддерживающее решет; 3 – полиуретановые шары, размещенные на поддерживающем решет; 4 – шпальтовое сито; 5 – загрузочный желоб; 6 – разгрузочный желоб; 7 – резиновая диафрагма; 8 – разгрузочное устройство; 9 – коромысло; 10 – эксцентриковый вал

Fig. 1. Laboratory unit with a modernized jigging box

1 – jigging box; 2 – ragging screen; 3 – polyurethane balls located on the ragging screen; 4 – slotted screen; 5 – feed chute; 6 – discharge chute; 7 – rubber diaphragm; 8 – discharge device; 9 – rocker arm; 10 – eccentric shaft

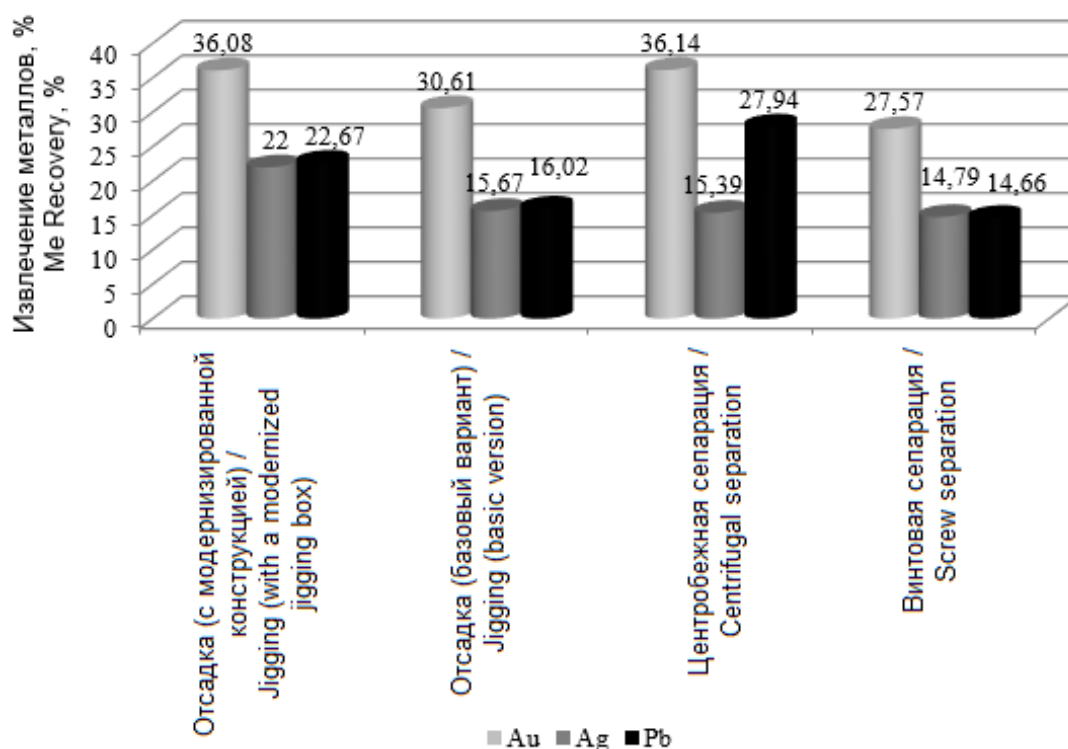


Рис. 2. Показатели извлечения металлов в концентрат гравитации

Fig. 2. Indices of metal recovery to the gravity concentrate

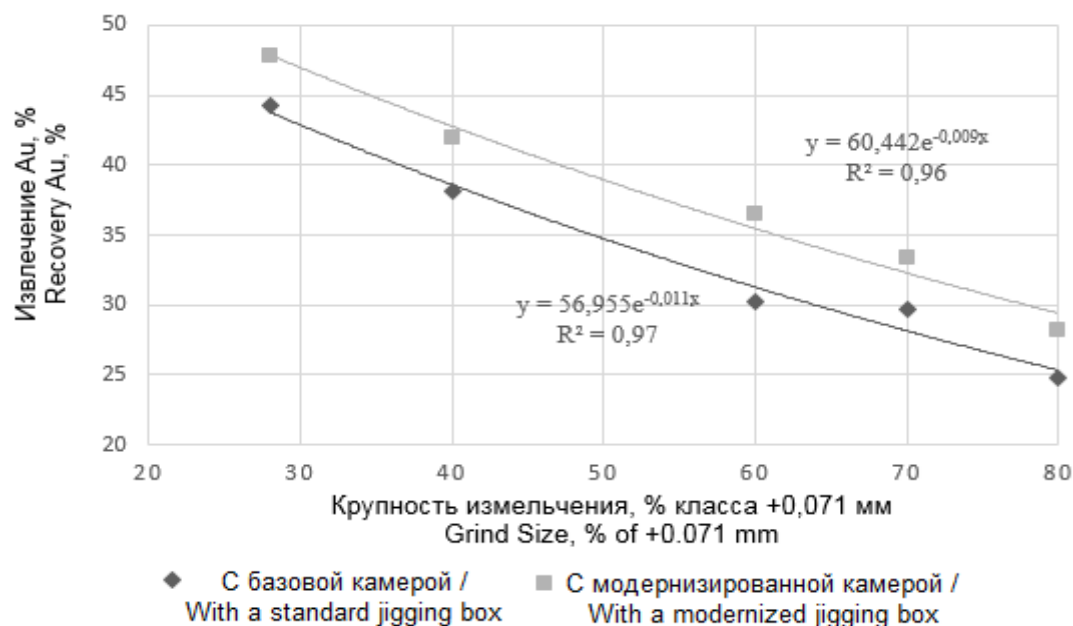


Рис. 3. Зависимость извлечения золота при различных режимах работы отсадочных машин
Fig. 3. Dependence of gold recovery on various operation modes of jigs

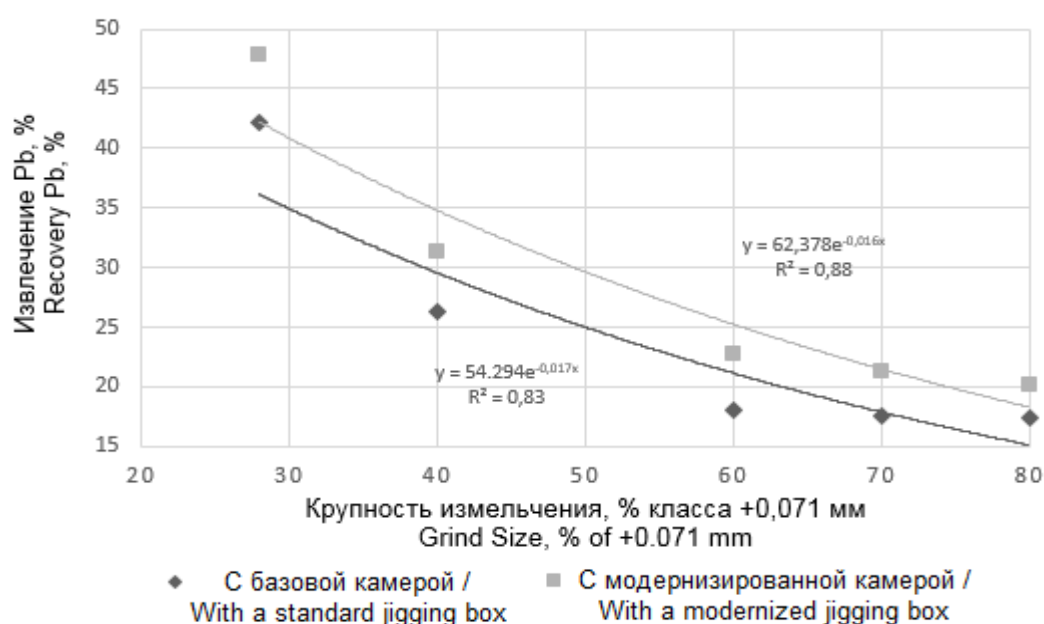


Рис. 4. Зависимость извлечения свинца при различных режимах работы отсадочных машин
Fig. 4. Dependence of lead recovery on various operation modes of jigs

На основе экспериментальных исследований установлено, что оптимальная крупность руды для первичного гравитационного обогащения составляет 80 % класса -1 мм (30 % класса -0,071

мм) и определяется наличием и распределением в руде свободного крупного золота, что подтверждает результаты фазового и минералогического анализов.

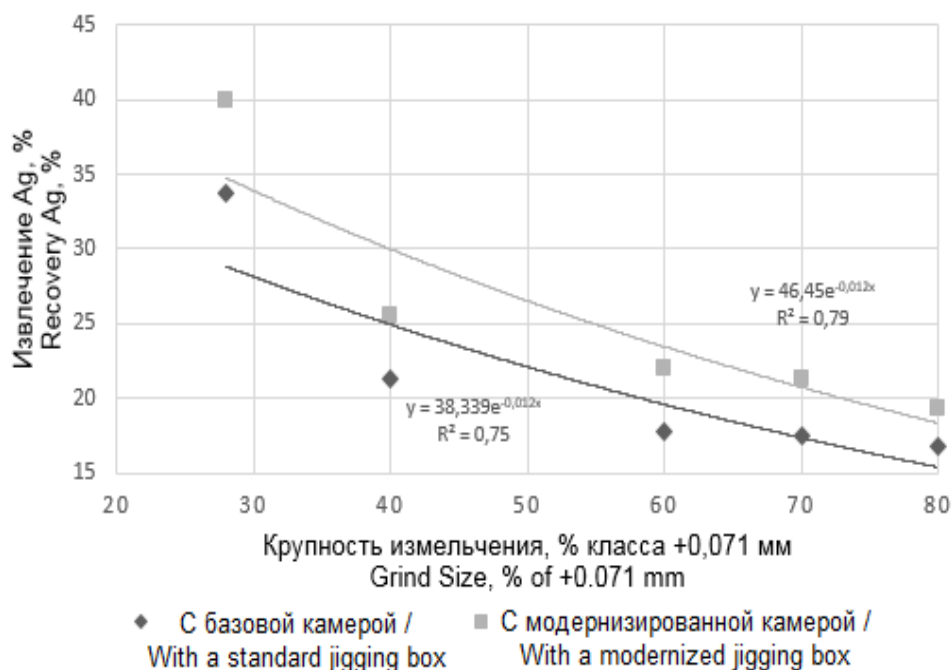


Рис. 5. Зависимость извлечения серебра при различных режимах работы отсадочных машин
Fig. 5. Dependence of silver recovery on various operation modes of jigs

Извлечение золота в концентрат при работе отсадочной машины с модернизированной конструкцией камеры в зависимости от крупности исходной руды колеблется в пределах 28,24–47,78 %, серебра – 19,34–39,97 %, свинца – 20,19–47,8 %.

Таким образом, анализ результатов исследований показывает, что при работе отсадочной машины с модернизированной конструкцией камеры в отличие от базового варианта извлечение золота повышается до 6,2 %, серебра – до 6,23 %, свинца – до 5,66 %.

В ходе экспериментальных исследований установлено влияние параметров работы отсадочной машины на эффективность извлечения золота. К основным параметрам следует отнести амплитуду и частоту колебаний, количественное соотношение в камере отсадочной машины площади, занимаемой очищающими полиуретановыми шарами, к площади решета отсадочной машины $S_{\text{очищающих шаров}} / S_{\text{отсадочной машины}}$, а также

расход воды.

На основании экспериментальных данных выявлены функциональные зависимости извлечения золота от исследуемых параметров работы отсадочной машины.

Полученные данные подтверждаются результатами опытно-промышленных испытаний, проведенными на обогатительной фабрике АО «Ново-Широкинский рудник».

В ходе исследований были испытаны два режима работы отсадочных машин: режим 1 (базовый) и режим 2 (с дополнительным размещением в камере полиуретановых шаров), разработанный на основании предварительных лабораторных исследований. Режимы работы отсадочных машин приведены в табл. 1.

Гранулометрический состав исходного питания отсадочных машин I стадии гравитации с распределением металлов по классам крупности представлен на рис. 6.

Таблица 1

Параметры работы отсадочных машин

Table 1

Jig operation parameters

Режим работы / Operating mode	Параметры работы / Operation parameters			Размер шпальтового сита, мм / Size of a slot- ted screen, mm	Количество шаров, шт. / Number of balls, pcs.
	Высота естественной постели, мм / Bed Height, mm	Ход днища, мм / Stroke length, mm	Диаметр разгрузочной насадки, мм / Spigot diameter, mm		
I стадия гравитации / I gravity stage					
Базовый / Basic	200	18	27	1,6	–
С шарами / With balls	200	18	27	1,6	16

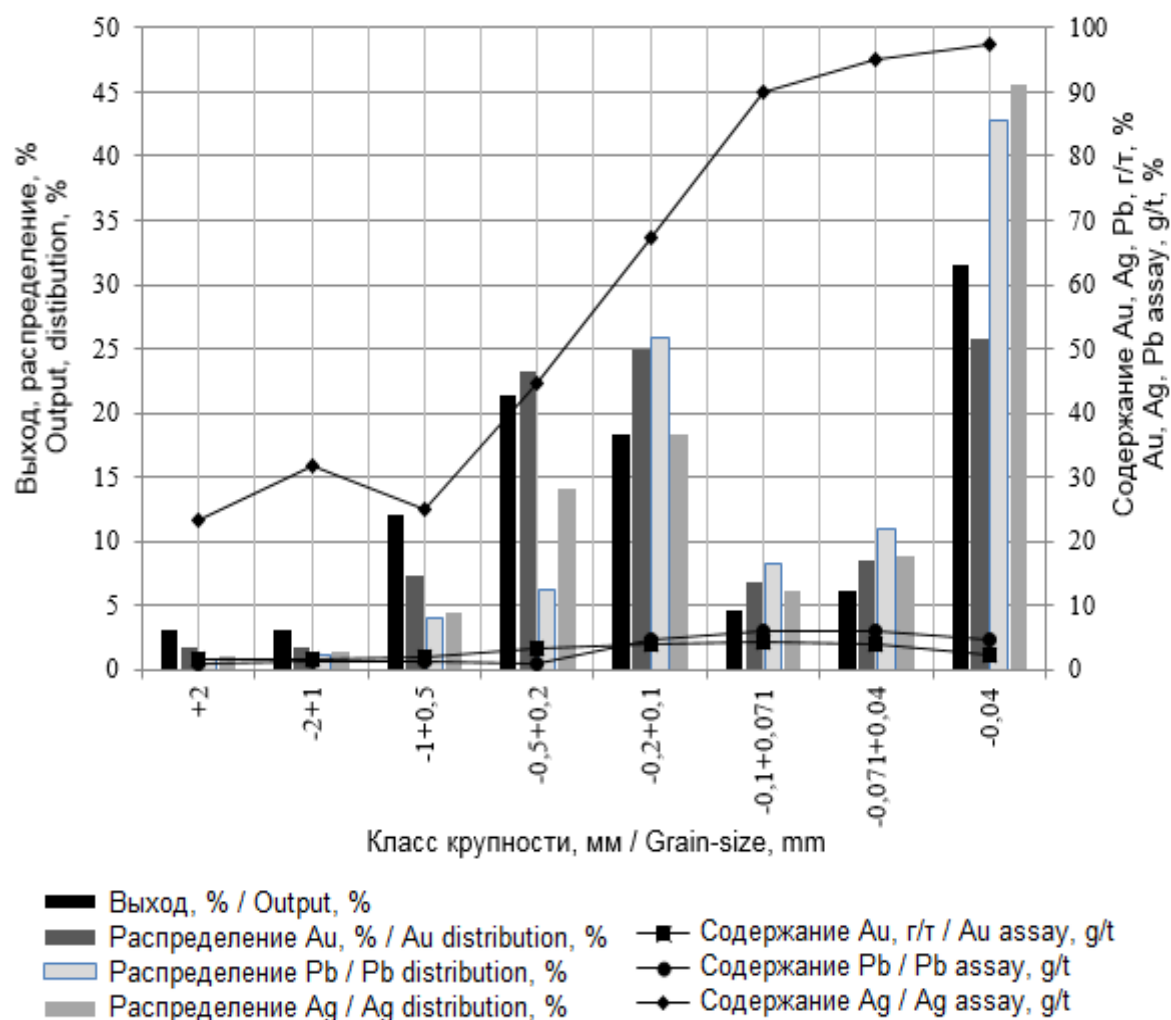


Рис. 6. Распределение металлов по классам крупности
в питании отсадочных машин I стадии гравитации
Fig. 6. Metal distribution by grain-size in the I gravity stage jig feed

Анализ гранулометрического состава исходного питания отсадки показывает, что содержание готового класса - 0,071 мм в питании отсадочных машин составляет 37,7 %. При этом 65,8 % золота распределено в классах +0,071 мм.

В табл. 2 приведены технологические показатели работы отсадочных машин I стадии гравитации по базовому режиму и рекомендованному режиму с использованием полиуретановых шаров.

Таблица 2

Технологические показатели работы отсадочных машин I стадии гравитации
Table 2
Process parameters of I gravity stage jigs

Базовый режим работы / Basic operation mode							
Наименование Продукта / Product	Выход, % / Output, %	Содержание / Assay					
		г/т / g/t		%			
		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Концентрат / Concentrate	6,31	4,14	79,4	3,02	0,672	0,34	8,98
Хвосты / Tailings	93,69	2,71	77,48	2,83	0,6	0,22	6,95
Исходная руда / Head ore	100,00	2,80	77,60	2,84	0,60	0,23	7,08
Наименование Продукта / Product	Выход, % / Output, %	Извлечение, % / Recovery, %					
		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Концентрат / Concentrate	6,31	9,33	6,46	6,71	7,01	9,43	8,01
Хвосты / Tailings	93,69	90,67	93,54	93,29	92,99	90,57	91,99
Исходная руда / Head ore	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
С использованием полиуретановых шаров / With polyurethane balls							
Наименование Продукта / Product	Выход, % / Output, %	Содержание / Assay					
		г/т / g/t		%			
		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Концентрат / Concentrate	12,69	3,593	73,4	2,925	0,615	0,316	9,18
Хвосты / Tailings	87,31	2,68	78,21	2,83	0,59	0,21	6,78
Исходная руда / Head ore	100,00	2,80	77,60	2,84	0,59	0,22	7,08
Наименование Продукта / Product	Выход, % / Output, %	Извлечение, % / Recovery, %					
		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Концентрат / Concentrate	12,69	16,31	12,00	13,06	13,16	17,95	16,44
Хвосты / Tailings	87,31	83,69	88,00	86,94	86,84	82,05	83,56
Исходная руда / Head ore	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Анализ полученных результатов испытаний показывает, что извлечение золота в концентрат отсадки I стадии гравитации при базовом режиме (режим 1) работы отсадочной машины составляет 9,33 %, серебра – 6,46 %, свинца – 6,71 %. При работе отсадочных машин по рекомендованному режиму 2 (с дополнительным размещением полиуретановых шаров в камере) извлечение золота в концентрат повышается до 16,31 %, серебра – до 12,00 %, свинца – до 13,06 % (рис. 7).

Заключение

Таким образом, результаты опытно-промышленных испытаний подтвердили, что размещение полиуретановых шаров в камерах отсадочных машин позволяет повысить эффективность разделения минеральных зерен в процессе отсадки за счет устранения забивания шпальтовых сит глинистыми шламами и повышения гидродинамических параметров разделения.

На основании результатов лабораторных и опытно-промышленных исследований для повышения эффективности процесса рудоподготовки и узла предварительного гравитационного выделения золота предложено несколько технических

решений. Реализация предлагаемых технических и компоновочных решений может быть осуществлена с использованием двух патентно-защищенных поточных линий [3].

Для повышения эффективности обогащения руд Ново-Широкинского месторождения предлагается в действующую схему внести следующие технологические и компоновочные решения:

- ввести в схему узел дробления кусков критической крупности с использованием валкового пресса высокого давления;

- черновые гравитационные концентраты отсадки направлять без доизмельчения на основные концентрационные столы, после чего хвосты основных столов подавать на доизмельчение в шаровую мельницу: это позволяет исключить переизмельчение зерен свободного золота и снизить технологические потери в цикле доводки;

- разместить полиуретановые шары в камерах отсадочных машин для очистки шпальтовых сит: это позволит повысить эффективность разделения минеральных зерен в восходящих и нисходящих потоках [4, 5].

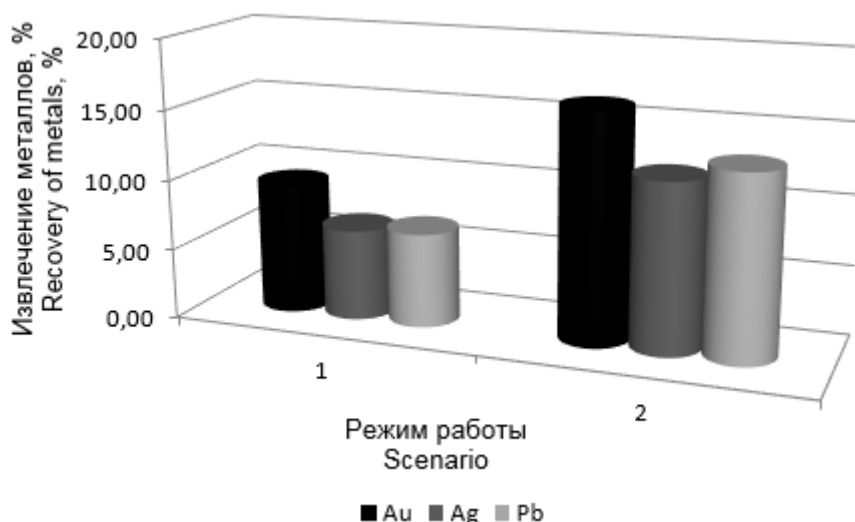


Рис. 7. Извлечение металлов в концентрат гравитации I стадии
Fig. 7. Recovery of metals to the Gravity Concentrate I

Предложенные инновационные решения по построению схемы позволят повысить эффективность извлечения свободных зерен золота и свинца из полиметаллических руд. Прогнозный годовой экономический эффект в результате

внедрения предлагаемых технических решений по модернизации узла рудоподготовки и первичного гравитационного обогащения при переработке руд Ново-Широкинского месторождения составит 129,6 млн рублей.

Библиографический список

1. Мязин В.П., Литвинцев С.А., Чернышева В.И. Оценка технологической изученности комплексных полиметаллических руд Ново-Широкинского месторождения // Вестник забайкальского государственного университета. 2015. № 4 (119). С. 28–36.

2. Пат. № 172003 РФ, МПК B03B5/16. Отсадочная машина диафрагмовая / В.П. Мязин, С.А. Литвинцев. Заявл. 10.01.2017; опубл. 26.06.2017.

3. Пат. № 2608480 РФ, МПК C22B1/00. Поточная линия для комплексного извлечения ценных компонентов из полиметаллических руд / С.А. Литвинцев, А.Н. Кисляков, В.И. Литвинцева, С.Н. Носков, В.П. Мязин. Заявл. 15.09.2015; опубл. 20.09.2015.

4. Литвинцев С.А., Мязин В.П. Повышение эффективности гравитационного обогащения полиметаллических золотосодержащих руд (на примере Ново-Широкинского месторождения) // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XVI международной научно-практической конференции (Чита, 28–30 ноября 2016 г.). Чита, 2016. С. 107–110.

5. Мязин В.П., Литвинцев С.А., Литвинцева В.И. Совершенствование технологии переработки комплексных полиметаллических руд Ново-Широкинского месторождения // Новые технологии в науке о Земле: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Нальчик, 2015. 193 с.

References

1. Myazin V.P., Litvintsev S.A., Chernysheva V.I. Evaluation of the previous metallurgical study of the complex polymetallic ores of the Novoshirokinsky deposit. *Vestnik zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Transbaikal State University], 2015, no. 4 (119), pp. 28–36. (In Russian).

2. Myazin V.P., Litvintsev S.A. *Otsadochnaya mashina diofragmovaya* [Diaphragm jig]. Patent RF, no. 172003, 2017 (In Russian).

3. Litvintsev S.A., Kislyakov A.N., Litvintseva V.I., Noskov S.N., Myazin V.P. *Potochnaya liniya dlya kompleksnogo izvlecheniya tsennykh komponentov iz polimetallicheskih rud* [Production line for the complex extraction of valuable components

from polymetallic ores]. Patent RF, no. 2608480, 2015 (In Russian).

4. Litvintsev S.A., Myazin V.P. *Povyshenie effektivnosti gravitatsionnogo obogashcheniya polimetallicheskih zolotosoderzhashchikh rud (na primere Novoshirokinskogo mestorozhdeniya)* [Improving efficiency of gravity concentration of polymetallic gold-bearing ores (on example of the Novo-Shirokinsky deposit)]. *Materialy XVI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov"* [Materials of the XVI International Scientific and Practical Conference Kulagin's Readings: Equipment and Technology of Production Processes]. Chita, 2016, pp. 107–110. (In Russian).

5. Myazin V.P., Litvintsev S.A., Litvintseva V.I. *Sovershenstvovanie tekhnologii pererabotki kompleksnykh polimetallicheskh rud Novo-Shirokinskogo mestorozhdeniya* [Improving the technology of Novo-Shirokinsky deposit complex polymetallic ore processing]. *Materialy V*

Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Novye tekhnologii v nauke o Zemle" [Materials of V All-Russian Scientific and Practical Conference "New technologies in the Science of the Earth"]. Nal'chik, 2015, 193 p. (In Russian).

Критерии авторства

Мязин В.П., Литвинцев С.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Myazin V.P., Litvintsev S.A. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.