

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД НОВО-ШИРОКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

TECHNOLOGICAL POSSIBILITY OF INCREASING THE COMPLEXITY OF THE USE OF GOLD-BEARING POLYMETALLIC ORES OF THE NOVO-SHIROKINSKY DEPOSIT



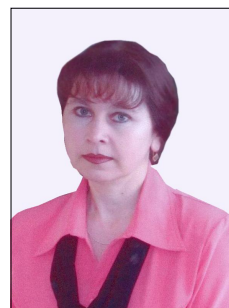
Н. В. Зверева,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
natalya0489@mail.ru

N. Zvereva,
Transbaikal State University, Chita



В. П. Мязин,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
myazinvpchita@mail.ru

V. Myazin,
Transbaikal State University, Chita



И. В. Костромина,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
kostrominaiv62@mail.ru

I. Kostromina,
Transbaikal State University, Chita

Золотосодержащие полиметаллические руды Ново-Широкинского месторождения (далее НШМ) являются комплексными, содержащими, кроме золота и серебра, другие ценные компоненты, к числу которых относятся свинец, цинк, медь, железо и др. По содержанию сульфидов в рудах они относятся к умеренно-сульфидному типу. Главная особенность вещественного состава руд НШМ: выраженная многокомпонентность по содержанию в них ценных минералов; близость флотационных свойств, разделяемых минералов; особо ценным минералом в рудах, кроме золота и серебра, является медь, которая в основном концентрируется в свинцовом концентрате. Наиболее высокие технологические показатели обогащения руд достигаются в случае, когда они обогащаются по коллективной технологической схеме [1]. Получают свинцово-медный концентрат, который, как правило, в дальнейшем направляется для последующей селективной флотации. Технологическая схема обогащения руд на фабрике НШМ приведена на рис. 1. На фабрике получают два основных концентрата – свинцовый и цинковый (соответствующие ТУ 07.29.15-002-24722376-2018 и ТУ 1725-001-24722376-2011). Данная работа направлена на повышение комплексности использования полиметаллических руд НШМ с целью обоснования возможности дополнительного получения медного концентрата на обогатительной фабрике. *Объект исследования* – золотосодержащие полиметаллические руды Ново-Широкинского месторождения. *Предмет исследования* – флотационный процесс обогащения руд как основа для получения медного концентрата путём построения эффективных технологических схем переработки полиметаллических руд. *Цель* – оценить и научно обосновать возможность эффективности получения медного концентрата в технологической линии на обогатительной фабрике НШМ, включающей основную и контрольную свинцово-цинковую флотацию и перечестные операции с использованием реагентов: - сульфид натрия (Na_2S), пиросульфит натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), сульфат железа (FeSO_4), сульфгидрильный собиратель (Аего 9863). *Основные задачи*: разработать методики проведения экспериментальных исследований; оценить эффективности реагентных режимов при проведении свинцово-медной флотации и возможного получения медного концентрата; выполнить анализ операционного баланса металлов и установить закономерности извлечения меди в концентрат. *Основная идея работы* – последовательное выделение меди из свинцового концентрата с использованием перечесток и оптимальных режимных параметров процесса флотации

Ключевые слова: комплексное использование сырья, золотосодержащие руды, полиметаллические руды, свинцовый концентрат, цинковый концентрат, медный концентрат, технологические схемы обогащения руд, флотационный метод обогащения, лабораторные исследования, минерал, реагенты

Gold-bearing polymetallic ores of the Novo-Shirokinsky deposit (further NShD) are complex, containing other valuable components besides gold and silver, which include lead, zinc, copper, iron, etc. According to the content of sulfides in the ores, they belong to the moderate sulfide type. The main feature of the material composition of ores NShD: expressed multicomponent content of valuable minerals; proximity of flotation properties of shared minerals; especially valuable mineral in ores, in addition to gold and silver, is copper, which is mainly concentrated in lead concentrate. The highest technological indicators of ore beneficiation are achieved when they are enriched according to a collective technological scheme. The technological scheme of ore beneficiation at the plant is shown in fig. 1. A lead-copper concentrate is obtained, which, as a rule, is subsequently sent for subsequent selective flotation. The factory produces two main concentrates - lead and zinc (corresponding to TU 07.29.15-002-24722376-2018, TU 1725-001-24722376-2011). This work is aimed at increasing the complexity of the use of NShD polymetallic ores in order to justify the possibility of additional production of copper concentrate at the plant. *The object of the study* – gold-bearing polymetallic ores of the Novo-Shirokinsky deposit. *The subject of the study* – flotation process of ore beneficiation as the basis for obtaining copper concentrate by constructing effective technological schemes for the polymetallic ores' processing. *The main idea of the work* – sequential extraction of copper from lead concentrates using retreatments and optimal operating parameters of the flotation process

Key words: comprehensive use of raw materials, gold-bearing, polymetallic ores, lead, zinc and copper concentrates, technological schemes of ore beneficiation, flotation beneficiation method, laboratory tests, mineral, reagents

Введение. В настоящее время на фабрике из руд Ново-Широкинского месторождения получают два готовых продукта – свинцовый и цинковый концентраты, свободное золото выделяют гравитацией. Работы по возможности выделения меди из свинцового концентрата ранее выполнялись следующими организациями: ООО «Коралайн Инжиниринг»¹ и ЗАО «НПО «РИВС» [5]. Однако полученные результаты требуют дальнейших исследований по качеству получаемого медного концентрата при переработке золотосодержащих полиметаллических руд Ново-Широкинского месторождения.

Объект исследования – золотосодержащие полиметаллические руды НШМ.

Предмет исследования – флотационный процесс обогащения руд как основа для получения медного концентрата на основе построения эффективных технологических схем комплексной переработки сырья.

Цель исследования – оценить и научно обосновать возможность эффективности получения медного концентрата в технологической линии на обогатительной фабрике НШМ, включающей основную и контрольную свинцово-цинковую флотацию и перечестные опера-

ции с использованием реагентов: сульфид натрия (Na_2S), пиросульфит натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), сульфат железа (FeSO_4), сульфгидрильный собиратель (Аеро 9863).

Основные задачи исследования:

– разработать методику проведения экспериментальных исследований;

– оценить эффективность реагентных режимов при проведении свинцово-медной флотации и возможного получения медного концентрата;

– выполнить анализ операционного баланса металлов и установить закономерности извлечения меди в концентрат.

Основная идея работы – реализация технологического приёма последовательного выделения меди из свинцового концентрата достигается путём использования в линии свинцово-медной флотации и последующих трёх перечисток при оптимально-установленном расходе реагентов.

При обогащении золотосодержащих свинцово-цинковых руд основными совокупными процессами первичной переработки являются – гравитация и флотация (комбинация гравитационных и флотационных методов раз-

¹ Кошелченков Л. В., Боброва О. В., Иванова Н. П. Отчет по научно-исследовательской работе с целью повышения качества свинцового концентрата и получения медного концентрата в условиях лаборатории обогатительной фабрики Ново-Широкинского рудника 2015. – 24 с.

деления минерального сырья). В результате гравитационного обогащения путём применения отсадочных машин, винтового сепаратора и концентрационных столов получают первичный гравитационный концентрат, а дальше с использованием процессов флотации выделяют два кондиционных продукта – концентрат свинца и цинка (соответствующие ТУ 07.29.15-002-24722376-2018 и ТУ 1725-001-24722376-2011).

Ряд исследовательских институтов провели исследования по использованию гравитационно-флотационной схемы (рис. 1), для получения золотосодержащего свинцового и цинкового концентрата. Однако исследований по выделению медного концентрата с позиций комплексности использования сырья с низким содержанием меди не проводилось. Несколько позже, в 2015 г. ООО «Коралайн Инжиниринг»² и ЗАО «НПО «РИВС» [5] проведены исследования на руде с более богатым содержанием металлов: Au – 3,1 г/т; Ag – 77,68 г/т; Cu – 0,22 %; Pb – 2,4 %; Zn – 0,74 %. Однако результаты выполненных исследований не были внедрены в производство.

В настоящее время содержание ценного компонента (Au, Ag, Pb, Zn, Cu) в исходной руде Ново-Широкинского полиметаллического месторождения значительно снизилось: Au – 2,98 г/т; Ag – 29,71 г/т; Pb – 0,53 %; Zn – 0,44%; Cu 0,2 %.

Месторождение Ново-Широкинского рудного поля представлено площадью кварц-турмалиновых минералов, зонами и жилами золото-галенит-сфалерит минерализации, а также присутствуют жилы с антиманитом, реальгар, золото и киноварь. На месторождении имеются два основных сорта руд – сульфидные и окисленные сульфидные. Для них характерна тонкая вкрапленность минералов и взаимопрорастание ценных минералов и вмещающих пород.

Главными минералами в руде являются галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, тетраэдрит. На рис. 2; 3; 4³ приводится для каждого сорта руд характерная тонкая вкрапленность минералов и тесное взаимопрорастание ценных минералов и вмещающих пород.

Минералогический состав руд в значительной степени предопределяет технологические показатели по извлечению и качеству получаемых концентратов, где каждый элемент, или металл, может быть представлен отдельным минералом, обладающим различной флототируемостью [1; 4]. По его данным можно заключить, что сложный вещественный состав многокомпонентных руд предопределяет эффективность их переработки [3; 4; 9]. Причём минералогический состав вмещающих компонентов существенно влияет на эффективность разделения минералов и в значительной степени определяется степенью контрастности их свойств [2; 4]. В числе сопутствующих ценных минералов в рудах присутствуют благородные и другие ценные металлы. В качестве первоочередной минеральной примеси представляется возможным при обогащении полиметаллических руд дополнительно выводить медь [1; 3].

Таким образом минералогический состав и количество вмещающих минералов в рудах может частично изменяться по сравнению с первоначальными данными, полученными на начальный период отработки месторождения. Поэтому потребовалось проанализировать продукты в свинцовом концентрате². Спектры минералов, полученные по методике в отражённом свете и обратнорассеянных электронах (рис. 2), показывают тесную связь галенита, пирита, самородного золота, айкениита с сульфидами меди и свинца.

Пирит чаще всего находится в свободном состоянии и лишь иногда встречается в сростках с породообразующими минералами в виде вкраплений. Галенит (PbS) и сфалерит (ZnS) – цвет поверхности свинцово-бурый.

Сложные по вещественному составу свинцово-цинковые полиметаллические руды наиболее эффективно перерабатываются по коллективно-селективным схемам [1; 6; 7]. При этом в коллективный концентрат извлекаются только сульфиды меди и свинца при подавлении сфалерита и пирита. На практике переработка сложных медно-свинцово-цинковых полиметаллических руд в большинстве своём ведётся с использова-

² Кошелченков Л. В., Боброва О. В., Иванова Н. П. Отчет по научно-исследовательской работе с целью повышения качества свинцового концентрата и получения медного концентрата в условиях лаборатории обогатительной фабрики Ново-Широкинского рудника 2015. – 24 с.

³ Башлыкова Т. В. Разработка рекомендаций по снижению содержания вредных примесей (мышьяк, сурьма) в свинцовом объединенном концентрате. М.: НВП Центр-ЭСТАгео, 2019. – 278 с.

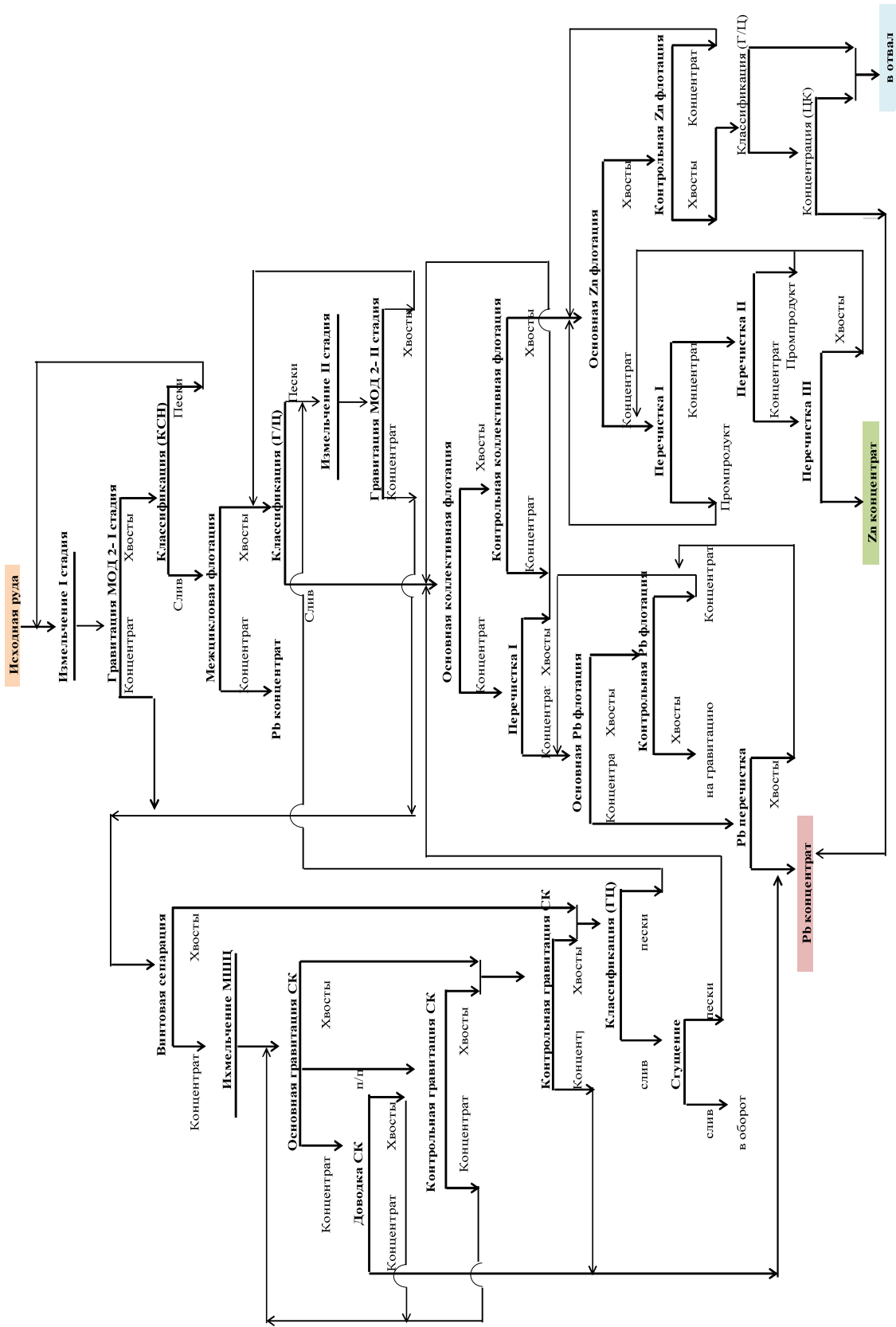


Рис. 1. Технологическая схема выделения золотосодержащего и свинцово-цинкового концентратов / Fig. 1. Technological scheme for the gold bearing and lead-zinc concentrates' extraction

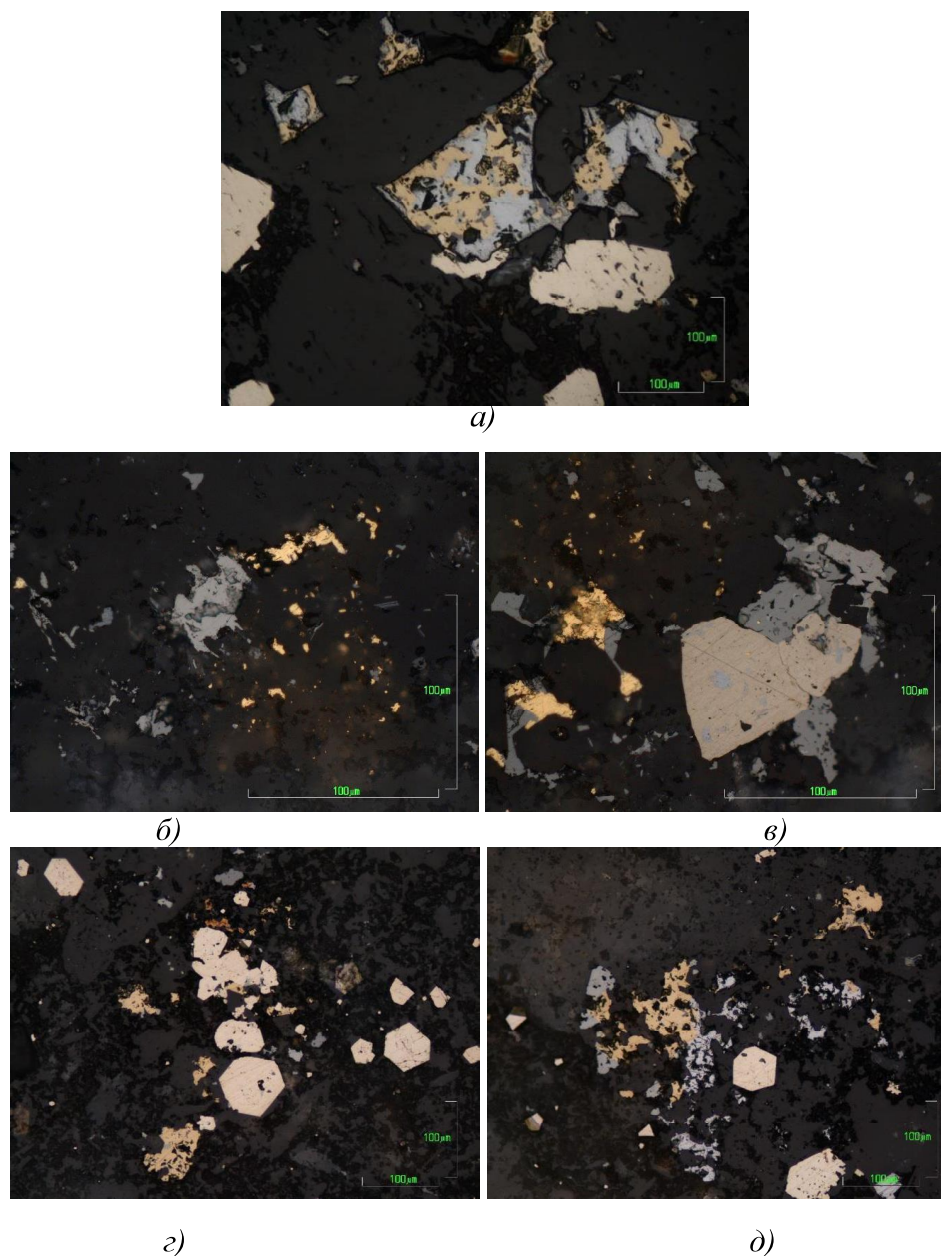


Рис. 2. Спектры минералов, полученные по методике в отражённом свете и обратнорассеянных электронах: а – сростание галенита с халькопиритом, сфалеритом и пиритом. (Изображение в отражённом свете); б, в – сростание самородного золота (жёлтый цвет) с породными минералами: кварц, айкинит, тетраэдрит и пирита с галенитом; г, д – сростания халькопирита со сростками галенита и сфалерита. (Изображение в отражённом свете) / Fig. 2. Spectra of minerals obtained by the technique in reflected light and backscattered electrons a – polymineral intergrowth of galena with chalcopyrite, sphalerite, and pyrite. (image in reflected light); b; c – intergrowth of native gold (yellow color) with rock minerals: quartz, aikinite, tetrahedrite and pyrite with galena; d; e – intergrowth of chalcopyrite with intergrowths of galena and sphalerite. (An image in reflected light)

нием флотационного метода обогащения [1; 10; 8]. Применение коллективно-селективных схем переработки руд позволяет извлекать в коллективный концентрат сульфиды меди и свинца.

Предлагаемая схема и реагентный режим для выделения меди в концентрат приведены на рис. 3 (с учетом особенностей изменяющегося вещественного состава руд).

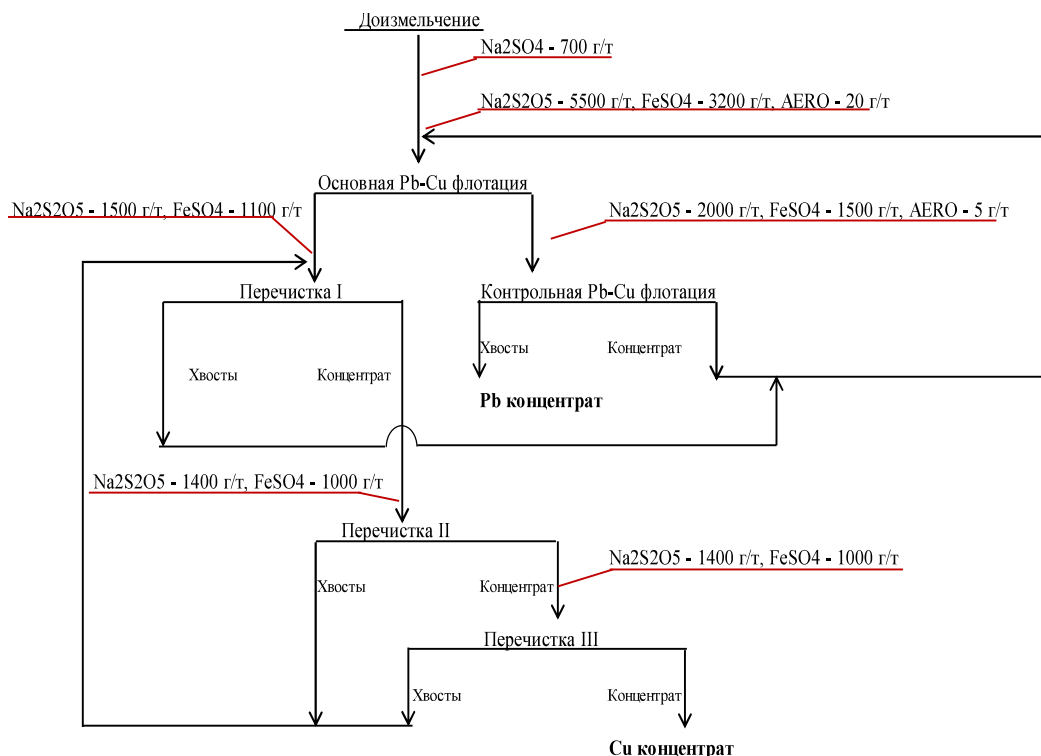


Рис. 3. Технологическая схема узла выделения медного концентрата / Fig.3. Technological scheme of the copper concentrate extraction node

Реагентный режим получения медного концентрата представлен в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Реагентный режим и параметры проведения опытов / Reagent mode and parameters of experiments

Название операций / name of operation	Расход реагентов, г/т / Reagent consumption, g/t						
	Активированный уголь / Activated carbon	Na2S	Na2S2O5	FeSO4	AERO 9863	H ₂ SO ₄	pH
Агитация 1 / Agitation 1	3500	500					
Агитация 2 / Agitation 2			3500	1700		700	5,2
Основная флотация / The main flotation			2000	1500	20		5,2
Контрольная флотация / Control flotation			2000	1000	5		5,2
1-я перечистная флотация / 1st cleaner flotation			1500	1100			5,2
2-я перечистная флотация / 2st cleaner flotation			1400	1000			
3-я перечистная флотация / 3st cleaner flotation			1400	1000			
Итого	3500	500	11800	7300	25	700	

Лабораторные флотационные исследования проводились на рудной пульпе обогащательной фабрики НШР (22 % твердого) с использованием лабораторной флотационной машины пневмомеханического типа с рабочим объемом камеры 3 л. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2 при достоверной надежности выполненных опытов 90 %.

ГОСТ Р 52998-2008 (содержание меди не менее 30,0 %; свинца – не более 4,0 %, цинка – не более 3,0 %). Это позволяет заключить, что выделенный концентрат может быть использован для получения готового продукта.

Для подтверждения полученных результатов требуется дальнейшее проведение исследований, в том числе промышленных испытаний на действующей обогащательной фабрике

Таблица 2 / Table 2

Результаты лабораторных опытов / Results of laboratory experiments

Продукты / Products	Выход, % / Exit, %	Содержание, %, г/т / Content, %, g / t				Извлечение, % / Extraction, %			
		Pb	Zn	Cu	Au	Pb	Zn	Cu	Au
Итого / Total	100,0	26,37	3,26	12,55	68,45	100	100	100	100
Концентрат Cu / concentrate Cu	3,22	3,28	2,50	31,52	125,18	0,40	2,47	8,10	5,90
Концентрат Pb / concentrate Pb	96,78	27,14	3,29	11,92	66,56	99,60	97,53	91,90	94,10

Заключение. Анализ полученных экспериментальных данных в лабораторных условиях показал, что содержание медного концентрата соответствует требованиям марки КМ-2 по

Ново-Широкинского рудника. Для уточнения механизма действия реагентов требуется проведение дополнительных исследований.

Список литературы

1. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. М.: Горная книга, 2008. 711 с.
2. Комогорцев Б. В., Вареничев А. А. Применение селективных реагентов-собираателей в технологиях флотационного обогащения золотосодержащих сульфидных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 12. С. 222–224.
3. Лобанов М. П. Изменчивость и природные связи компонентов руд Ново-Широкинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Забайкальский край, Россия): сб. науч. трудов по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2020. С. 19–22.
4. Трубочев А. И., Секисов А. Г., Лавров А. Ю. Ассоциации минералов в рудах и продуктах обогащения Восточно-Забайкальских месторождений цветных и благородных металлов // Известия Сибирского отделения наук о Земле РАЕН. 2016. № 3. С. 44–56.
5. Шумская Е. Н., Сизых А. С. Повышение извлечения золота из полиметаллической руды Ново-Широкинского месторождения // Горный журнал. 2014. № 11. С. 44–48.
6. Шумская Е. Н., Соловьева Л. М., Поперечникова О. Ю. Совершенствование технологии обогащения полиметаллической руды Артемьевского месторождения (Корпорация Казахмыс, Казахстан) // Горный журнал. 2012. № 11. С. 63–67.
7. Шумская Е. Н., Поперечникова О. Ю., Купцова А. В. Особенности технологии переработки полиметаллических руд // Горный журнал. 2016. № 11. С. 39–48.
8. Mu Y., Peng Y. Selectively depress copper-activated pyrite in copper flotation at slightly alkaline pH // Mining Metallurgy & Exploration. 2021. 38 (2). С. 751–762.
9. Baştürkçü H., Yenial Ü., Kökkılıç O., Yüce A. E., Erdoğan E. B. Beneficiation of Copper, Lead and Zinc Concentrates From Complex Ore By Using Environmentally Friend Reagents // The XIII International Mineral Processing Symposium (10–12 October, 2012). Bodrum, Turkey, 2012. P. 349–355.
10. Bulut G., Ceylan A., Soylu B., Goktepe F. Role of Starch and Metabisuphite on Pure Pyrite and Pyritic Copper Ore Flotation // Physicochem. Probl. Miner. Process. 2011. Vol. 48 (1). P. 39–48.

References

1. Abramov A. A. *Flotatsionnye metody obogashheniya* (Flotation methods of enrichment). Moscow: Mining Book, 2008. 711 p.
2. Komogortsev B. V., Varenichev A. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Komogortsev B. V., Varenichev A. A. Mining information and analytical bulletin), 2016, no. 12, pp. 222–224.
3. Lobanov M. P. *Izmenchivost i prirodnyye svyazi komponentov rud Novo-Shirokinskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Zabaykal'skiy kray, Rossiya)*: sb. nauch. trudov po materialam XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. stud., aspirantov i molodykh uchenykh (Variability and natural relationships of ore components of the Novo-Shirokinsky pyrite-polymetallic deposit (Transbaikal Region, Russia): Collected scientific works based on materials of the XIII Intern. scientific-practical. conf. students, graduate students and young scientists). Perm: Perm. State Nat. Research Un-ty, 2020, pp. 19–22.
4. Trubachev A. I., Sekisov A. G., Lavrov A. Yu. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya nauk o Zemle RAYEN* (Proceedings of the Siberian Branch of the Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences), 2016, no. 3, pp. 44–56.
5. Shumskaya Ye. N., Szykh A. S. *Gornyy zhurnal* (Mining journal), 2014, no. 11, pp. 44–48.
6. Shumskaya Ye. N., Solovyeva L. M., Poperechnikova O. Yu. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 2012, no. 11, pp. 63–67.
7. Shumskaya Ye. N., Poperechnikova O. Yu., Kuptsova A. V. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 2016, no. 11, pp. 39–48.
8. Mu Y., Peng Y. *Mining Metallurgy & Exploration* (Mining Metallurgy & Exploration), 2021, 38(2), pp. 751–762.
9. Baştürkü H., Yenial Ü., Kökkılıç O., Yüce A. E., Erdoğan E. B. *The XIII International Mineral Processing Symposium* (The XIII International Mineral Processing Symposium (10–12 October, 2012)). Bodrum, Turkey, 2012, pp. 349–355.
10. Bulut G., Ceylan A., Soylu B., Goktepe F. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* (Physicochemical Problems of Mineral Processing), 2011, vol. 48 (1), pp. 39–48.

Информация об авторе

Зверева Наталья Викторовна, аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. *Область научных интересов*: технология флотационного обогащения комплексных свинцово-цинковых руд, обогащение полезных ископаемых, комплексная переработка труднообогатимого минерального и техногенного сырья
natalya0489@mail.ru

Мязин Виктор Петрович, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. *Область научных интересов*: технология флотационного обогащения комплексных свинцово-цинковых руд, обогащение полезных ископаемых, комплексная переработка труднообогатимого минерального и техногенного сырья
myazinvpchita@mail.ru

Костромин Ирина Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. *Область научных интересов*: технология флотационного обогащения комплексных свинцово-цинковых руд, обогащение полезных ископаемых, комплексная переработка труднообогатимого минерального и техногенного сырья
kostrominaiv62@mail.ru

Information about the author

Natalia Zvereva, postgraduate, Transbaikal State University, Chita, Russia. *Sphere of scientific interests*: technology of complex lead-zinc ores' flotation, mineral processing, complex processing of refractory mineral and technogenic raw materials

Viktor Myazin, doctor of technical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. *Sphere of scientific interests*: technology of complex lead-zinc ores' flotation, mineral processing, complex processing of refractory mineral and technogenic raw materials

Irina Kostromina, candidate of technical sciences, associate professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. *Sphere of scientific interests*: technology of complex lead-zinc ores' flotation, mineral processing, complex processing of refractory mineral and technogenic raw materials

Для цитирования

Зверева Н. В., Мязин В. П., Костромина И. В. Технологическая возможность повышения комплексности использования золотосодержащих полиметаллических руд Ново-Широкинского месторождения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 6. С. 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-6-6-14.

Zvereva N., Myazin V., Kostromina I. Technological possibility of increasing the complexity of the use of gold-bearing polymetallic ores of the Novo-Shirokinsky deposit // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 6, pp. . 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-6-6-14.

Статья поступила в редакцию: 26.05.2022 г.

Статья принята к публикации: 08.06.2022 г.