

УДК 622.765

Е. Н. ШУМСКАЯ, А. С. СИЗЫХ (ЗАО «НПО «РИВС»)

ПОВЫШЕНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ НОВО-ШИРОКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Е. Н. ШУМСКАЯ,
ведущий научный
сотрудник,
канд. техн. наук



А. С. СИЗЫХ,
инженер-
минералог

В ЗАО «НПО «РИВС» разработана комбинированная гравитационно-флотационная (бесцианидная) технология обогащения полиметаллических руд Ново-Широкинского месторождения с получением золотосодержащего гравитационного, а также высококачественных флотационных золотосодержащих медного, свинцового, цинкового и пиритного концентратов. Суммарное извлечение золота в концентраты составляет 90,5 %. По результатам исследований составлен технологический регламент на реконструкцию действующей обогатительной фабрики.

Ключевые слова: Ново-Широкинское месторождение, полиметаллические руды, золото, гравитационно-флотационная технология.

Руда Ново-Широкинского полиметаллического месторождения является сульфидной, прожилково-вкрапленного типа по кварц-карбонатным метасоматитам и андезитовым порфирирам. Основными ценными компонентами являются свинец, цинк, золото и серебро; попутными — медь, кадмий, сурьма, висмут. Основные нерудные минералы — кварц и карбонаты; рудные — пирит, галенит, сфалерит, в подчиненном количестве — халькопирит. Золото в основном самородное. Серебро представлено аргентитом, обнаруженным в виде крайне редких микроскопических включений в галените, значительное количество серебра в виде изоморфной примеси входит в состав галенита и блеклой руды (БР).

Целью исследований, выполненных в ЗАО «НПО «РИВС» в 2013 г., была разработка рациональной технологии обогащения полиметаллической руды Ново-Широкинского месторождения с получением гравитационного золотосодержащего, медного, свинцового, цинкового и пиритного концентратов высокого качества.

Материалом исследований служила технологическая проба сульфидной руды текущей добычи,

перерабатываемой на ОФ ОАО «Ново-Широкинский рудник». Проба представляла собой полиметаллическую руду прожилково-вкрапленного типа, химический состав которой приведен в **табл. 1**.

Фазовый анализ полезных компонентов показал, что медь представлена в основной массе сульфидными формами — халькопиритом (67,7 % отн.) и минералами группы БР (26 % отн.), на долю окисленных и вторичных минералов приходится всего 6,2 % (отн.). Цинк и свинец в пробе почти полностью представлены сульфидной формой 97,7 и 94,9 % (отн.) соответственно.

Рациональный анализ позволил определить наиболее характерные формы нахождения самородного золота в пробе исходной руды, измельченной до крупности 45 % класса –0,074 мм (**рис. 1**).

Преобладающий размер частиц золота — от 0,025 до 0,05 мм, встречаются единичные частицы размером до 0,15 мм. Обнаружены также свободные золотины, покрытые окисленными пленками. Форма таких зерен, как правило, дендритная и комковатая, цвет золотисто-желтый, размер — от 0,025 до 0,075 мм.

Значимая часть золота в сростках (45,1 %) обладает чистой поверхностью, 4,9 % сростков золота покрыты окисленными пленками.

Рациональный анализ позволил определить степень ассоциации золота с сульфидными минералами (**рис. 2**). Как видно, основная часть золота (89,4 % отн.) связана с медными и свинцовыми минералами. Это обстоятельство было учтено при разработке технологии обогащения данной руды.

Разработка технологии обогащения золотополиметаллических руд является сложной задачей, поскольку существует некоторое противоречие между схемами и реагентными режимами флотации полиметаллических и золотосодержащих руд. При формировании технологической схемы свободное золото методом флотации стремятся перевести в такие концентраты, из которых оно будет эффективно извлекаться при последующей обработке. Этому требованию в большей степени отвечают медный и свинцовый концентраты, высокое качество которых всегда связа-

Таблица 1. Химический состав пробы руды Ново-Широкинского месторождения

Содержание, %								
Cu	Pb	Zn	Fe	S	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Au (г/т)	Ag (г/т)
0,19	2,42	0,86	6,11	4,67	7,55	42,8	3,49	61,47

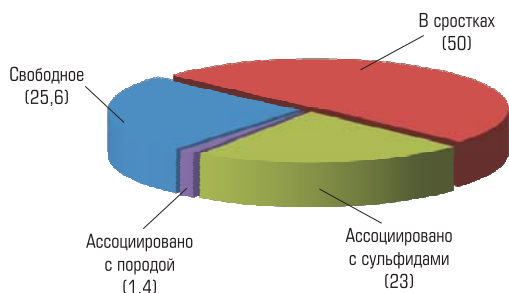


Рис. 1. Формы нахождения золота в руде Ново-Широкинского месторождения, % (отн.)

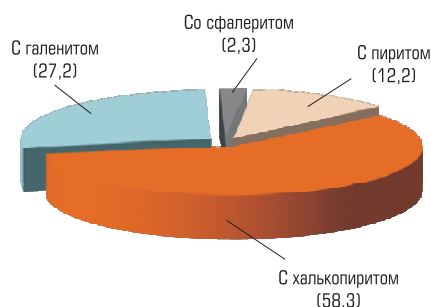


Рис. 2. Распределение сростков золота в сульфидах, %

но с использованием таких «вредных» для флотации золота реагентов, как известь, сернистый натрий, цианид натрия, цинковый купорос.

Одним из наиболее сложных моментов при построении технологических схем обогащения полиметаллических руд является

необходимость применения большого числа операций перечистки медных, свинцовых и цинковых концентратов и промежуточных продуктов, что всегда приводит к большим потерям золота. Наиболее радикальный путь решения этой проблемы — использование современных селективных собирателей, которые позволяют

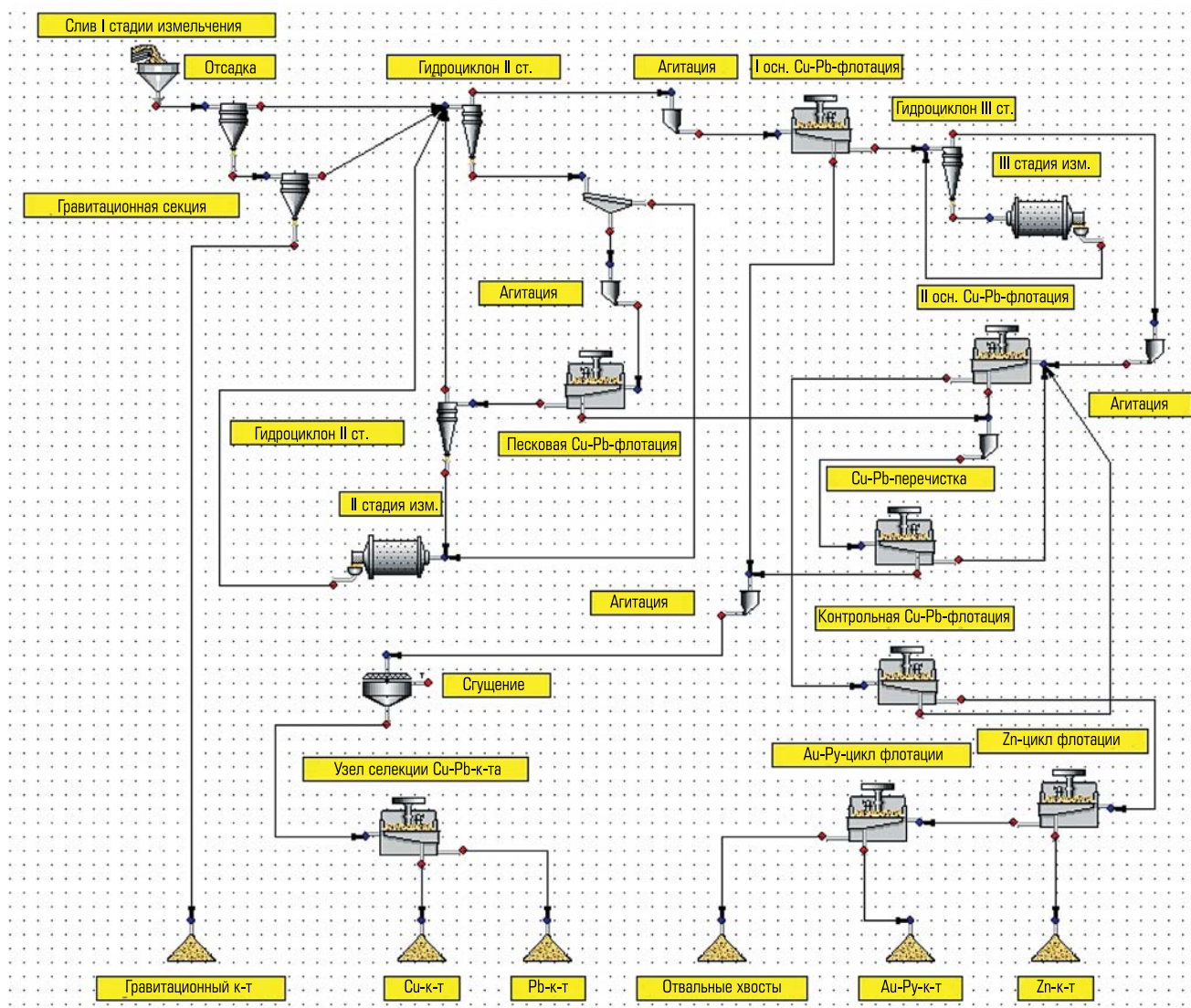


Рис. 3. Гравитационно-флотационная схема переработки руды Ново-Широкинского месторождения по технологии, разработанной ЗАО «НПО «РИВС»

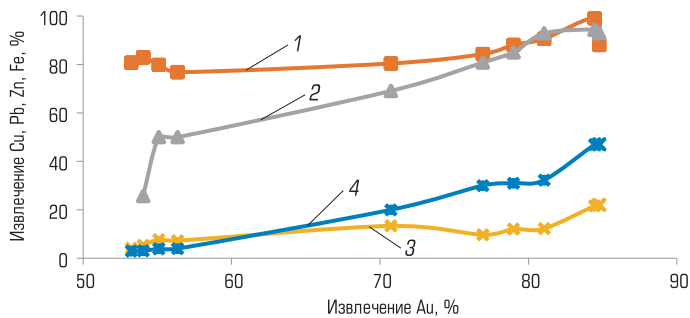


Рис. 4. Зависимость между извлечением некоторых металлов и золота в медно-свинцовый концентрат:

1 — медь; 2 — свинец; 3 — цинк; 4 — железо

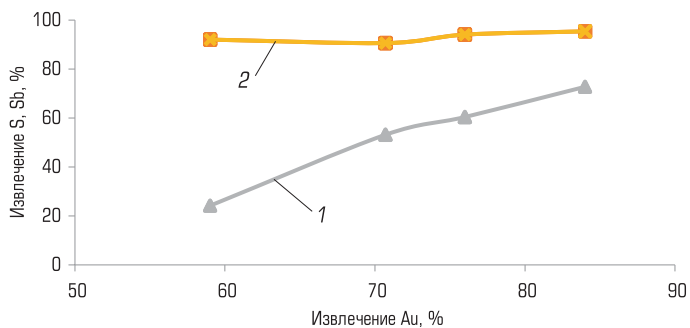


Рис. 5. Зависимость извлечения золота, мышьяка и сурьмы в медно-свинцовый концентрат:

1 — As; 2 — Pb

получать более качественные концентраты и минимизировать число перечистных операций.

Поскольку крупное свободное золото плохо извлекается флотацией, был испытан вариант его гравитационного улавливания отсадкой из разгрузки мельницы I стадии измельчения. Из руды, содержащей 3,49 г/т золота, 61,47 г/т серебра и 2,4 % свинца получен черновой концентрат (выход 9,42 %), содержащий 12,76 г/т золота, 213 г/т серебра и 10 % свинца. Извлечение золота составило 34,4 %, серебра 32,6 и свинца 39,1 %. После его доизмельчения и доводки на концентрационном столе получен золотосвинцовый концентрат (выход 0,25 %), содержа-

щий 131 г/т золота, 1329 г/т серебра и 57,4 % свинца при извлечении 9,4, 8,28 и 6,5 % соответственно.

При изучении характера раскрытия и морфологии сульфидных минералов в процессе дезинтеграции руды установлено, что во фракции –2 мм содержится ~44 % свободных зерен галенита, ~72 % (отн.) которых приходится на классы +0,1 мм. В классе –100+74 мкм находится ~65 % (отн.) блеклых руд и ~68 % (отн.) халькопирита. Для извлечения в медно-свинцовом цикле предусмотрена песковая флотация. Первую основную флотацию проводили на сливе II измельчения крупностью 60 % класса –74 мкм, а II основную флотацию — после III стадии измельчения при содержании класса –74 мкм 80 % (рис. 3).

В ходе разработки технологии медно-свинцового цикла флотации установлено, что в зависимости от реагентного режима при высоком извлечении меди (80–95 %) извлечение золота колеблется в пределах (55–85 %), поскольку носителями этого металла в руде служат несколько минералов (рис. 4). В то же время прослеживается определенная зависимость между извлечением золота и свинца. Пирит, который в данном цикле является нежелательной примесью и служит дополнительным носителем золота, извлекается в самостоятельный продукт в конце технологической схемы, а не в ее начале. Сфалерит не является определяющим минералом с позиции флотации золота.

По результатам минералогических исследований БР выявлены их мышьяковистые (теннантит) и сурьмянистые (тетраэдрит) разновидности со значительным преобладанием последних. Тем не менее авторами установлено, что золото в руде Ново-Широкинского месторождения тесно связано именно с теннантитом. На рис. 5 показано, что изменение извлечения мышьяка, который присутствует только в этом минерале, в медно-свинцовый концентрат с 20 до 65 % приводит к изменению извлечения золота в него с 60 до 85 %. В связи с этим реагентный режим для данной руды был направлен на интенсификацию флотации галенита и теннантита.

В качестве основного депрессора сфалерита в медно-свинцовом цикле флотации использовано сочетание сульфида на-

Таблица 2. Результаты замкнутого флотационного опыта на пробе руды Ново-Широкинского месторождения по разработанной гравитационно-флотационной технологии

Продукт	Выход, %	Содержание, % (г/т)						Извлечение, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
Сu-Pb-к-т	4,22	3,69	49,77	2,14	5,43	52,59	1209,47	82,05	86,79	10,5	3,75	63,59	83,03
Сu-к-т	0,54	26	6,5	2,4	18,57	152	3850	73,89	1,45	1,51	1,64	23,52	33,82
Pb-к-т	3,68	0,42	56,12	2,1	3,5	38	822	8,16	85,34	8,99	2,11	40,07	49,21
Zn-к-т	1,27	0,4	1,2	52	1,7	5,66	120	2,68	0,63	76,79	0,35	2,06	2,48
Pу-к-т	1,02	0,15	0,4	0,38	30	53	48	0,79	0,17	0,45	5,01	15,49	0,8
Гравитационный к-т	0,25	0,25	57,4	0,88	14,19	131	1329	0,32	5,93	0,26	0,58	9,38	5,41
Хвосты	93,24	0,03	0,17	0,11	5,92	0,35	5,46	14,16	6,48	12	90,31	9,48	8,28
Руда	100	0,19	2,42	0,86	6,11	3,49	61,47	100	100	100	100	100	100

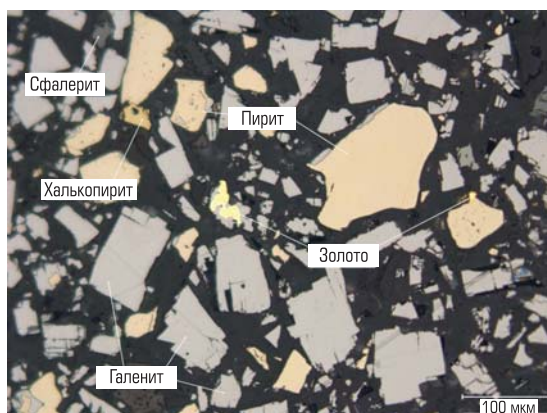


Рис. 6. Свинцовый концентрат. Золото в сростках с галенитом и пиритом. Отраженный свет, николи параллельны

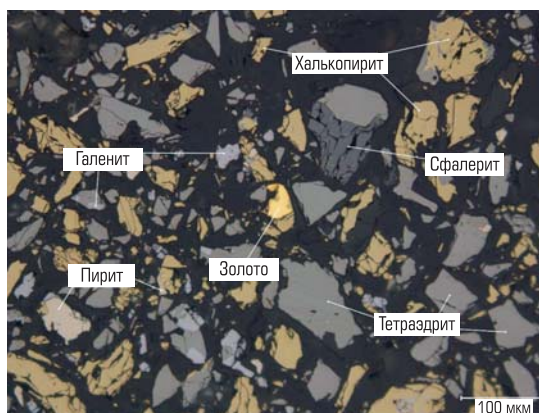


Рис. 7. Медный концентрат. Золото в сростке с халькопиритом. Отраженный свет, николи параллельны

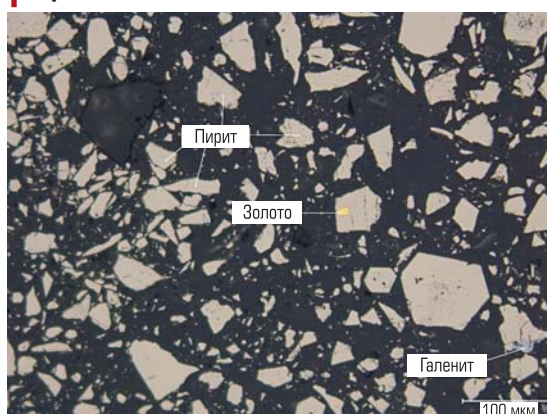


Рис. 8. Пиритный концентрат. Золото в сростке с пиритом. Отраженный свет, николи параллельны

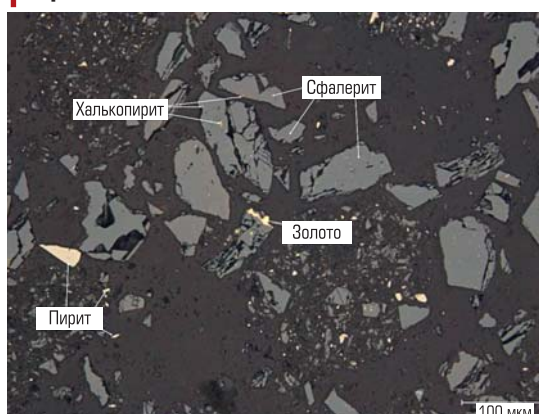


Рис. 9. Цинковый концентрат. Золото в сростке со сфалеритом. Отраженный свет, николи параллельны

трия и цинкового купороса. Дополнительный модификатор метабисульфит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ использовали вместо цианида натрия с целью подавления флотации пирита и сфалерита, активированного ионами Cu(II) . Механизм его депрессирующего действия на пирит связан с десорбцией собирателя с поверхности пирита, при этом происходит также окисление меди на поверхности пирита.

Известно, что теннантит и тетраэдрит плохо флотируются, когда в качестве собирателя используются ксантогенаты. Лучшими коллекторами этих минералов являются аэрофин или меркаптан в диапазоне pH от 8 до 10 [1], поэтому в качестве собирателя в медно-свинцовом цикле рекомендован Aegorphine 3418A, который является также отличным коллектором для галенита и благородных металлов. С использованием этих реагентов по стадийной схеме с одной перечисткой получен Cu-Pb-концентрат, содержащий 3,69 % меди, 49,77 % свинца, 2,14 % цинка и 5,43 % железа. Извлечение в него меди составило 82,05 %, свинца 86,79, золота 63,59 и серебра 83,03 % (табл. 2).

Выбор способа селекции Cu-Pb-концентрата зависит от его вещественного состава. В случае преобладания в концентрате минералов свинца над минералами меди и наличия свободного золота целесообразно бесцианидное разделение.

концентрат составило 90 %, а свинца в свинцовый — 98,3 %.

Низкие потери цинка с Cu-Pb-концентратом (10,5 %) позволили из бедной по содержанию цинка руды (0,86 %) получить кондиционный цинковый концентрат, содержащий 52 % цинка при извлечении 76,79 %.

Перевод части золота, связанного с пиритом, в Cu-Pb-концентрат сопровождается некоторым повышением его извлечения в этом цикле флотации. Однако данный процесс приводит к снижению качества концентратов и оправдывает себя в редких случаях, поскольку эффективное разделение бедных Cu-Pb-концентратов по бесцианидной технологии затруднено [2–4]. Поэтому более целесообразно получать пиритный концентрат в качестве самостоятельного продукта и подвергать его специальной обработке, особенно когда содержание его в руде невелико (7–10 %), как в руде Ново-Широкинского месторождения.

Флотацию пирита и золота из хвостов цинкового цикла проводили в слабощелочной среде (pH = 8), создаваемой серной кислотой с применением комбинации бутилового аэрофлота и Aegorphine 3418A. Золотопиритный концентрат содержит 53 г/т золота, 48 г/т серебра, 30 % железа при извлечении золота 15,5 %.

Разработана бесцианидная технология селекции Cu-Pb-концентрата с использованием метабисульфита натрия в качестве подавителя галенита и пирита в кислой среде при pH = 5,2–5,4. Использование метабисульфита натрия обусловлено тем, что он более эффективен по сравнению с сульфитом натрия в кислой среде, а его сочетание с водорастворимым картофельным крахмалом приводит к лучшей депрессии шламистого галенита и пирита. По этой технологии были получены высококачественные медный и свинцовый концентраты (см. табл. 2).

В цикле селекции извлечение меди от операции в медный

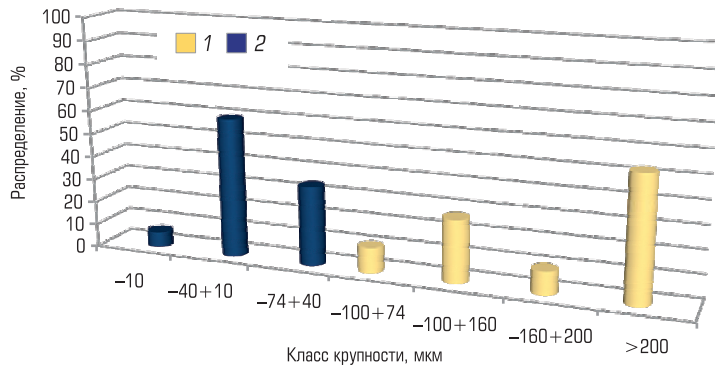


Рис. 10. Распределение зерен золота по классам крупности в продуктах обогащения руды Ново-Широкинского месторождения:
1 — гравитационный концентрат; 2 — флотационные концентраты

Как и предполагалось, наибольшее количество золота извлекается в свинцовый концентрат. Большая часть золота в нем находится в сростках с галенитом, реже — с пиритом и составляет 60 % (отн.), с нерудными минералами — 20,3 % (отн.), на свободные зерна приходится 13,5 % (отн.) (рис. 6).


В медном концентрате преобладают сростки золота с пиритом и БР в меньшей степени — с халькопиритом (рис. 7). В пиритном концентрате все зерна золота находятся в сростках с пиритом (рис. 8). В цинковом концентрате обнаружены единичные сростки золота со сфалеритом (рис. 9).

Исследование морфологии золота в продуктах обогащения показало, что флотационные концентраты содержат золото крупностью менее 74 мкм, в то время как гравитационный концентрат — крупностью более 74 мкм (рис. 10).

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности разработанной технологии. Суммарное извлечение золота достигает 90,52 %.

По результатам исследований составлен технологический регламент на реконструкцию обогатительной фабрики. Расчеты показали, что срок окупаемости проекта составит около 1,5 лет.

Библиографический список

1. *Balatovic M.* Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice. Flotation of Sulfide Ores. — Elsevier. 2007. — 445 p.
2. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. — М.: Недра, 1989. — 302 с.
3. *Adams M. D.* Advances in gold ore processing. — Elsevier. 2007. — 1025 p.
4. *Marsden J.* The Chemistry of Gold Extraction-SME. 2006. — 651 p. 

Шумская Елена Николаевна,
Сизых Алексей Сергеевич:
e-mail: rivs@rivs.ru

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 44–48

Title	Increasing of gold extraction from polymetallic ore of Novoshirokinskoe deposit
Author 1	Name & Surname: Shumskaya E. N.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Principal Researcher
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: e-mail: rivs@rivs.ru
Author 2	Name & Surname: Sizykh A. S.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Engineer—Mineralogist
Abstract	<p>Floatability of gold and gold-bearing sulphides is governed by the mineral origin and process behavior. Size and shape of grain and chemical composition of surface of gold grains and sulphide minerals are the factors that have the highest influence on ore dressability.</p> <p>In 2013 RIVS undertook the research aimed to develop a non-cyanide technology for Novo-Shirokinsky complex ore treatment to produce high quality copper, lead, zinc and gold-bearing pyrite concentrates.</p> <p>The research findings hold evidence of high effectiveness of the developed technology. The total gold recovery reaches 90.52 % since the new technology allows for maximum extraction of gold-associated sulphide minerals in selective concentrates. The quality of lead and zinc concentrates has been improved. The copper extraction technology has been developed.</p> <p>Based on the research findings, a processing plant reconstruction procedure has been worked out. According to the economic design, the project pay-back period will be about 1.5 years.</p>
Keywords	Novo-Shirokinsky deposit, complex ore, gold, gravity dressing-and-flotation process.
References	<ol style="list-style-type: none"> 1. Srdjan M. Balatovic. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice. Flotation of Sulfide Ores. Elsevier, 2007. 445 p. 2. Metodika issledovaniya zoloto- i serebrosoderzhashchikh rud (Methods of research of gold- and silver-containing ores). Moscow : Nedra, 1989. 302 p. (in Russian). 3. Adams M. D. Advances in gold ore processing. Elsevier, 2007. 1025 p. 4. Marsden J. The Chemistry of Gold Extraction-SME. 2006. 651 p.