

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПОПУТНИНСКОЕ»

Аннотация. Разработка технологии переработки руды месторождения «Попутнинское» первоначально была проведена в Исследовательском центре АО «Полюс Красноярск» в 2008 году. Выполнены исследования по разработке технологии переработки минерального сырья на нескольких пробах руд с отработкой технологии в промышленном процессе на Олимпиадинском ГОК АО «Полюс Красноярск». Продолжаются исследования руд с целью утверждения запасов и последующей переработки в промышленном масштабе. В первичных рудах месторождения «Попутнинское» золото имеет высокую пробу и, совместно с кварцем, карбонатами, минералами титана и сульфосолями, теллуридами образует субмикроскопическую и микроскопическую вкрапленность в сульфидах, нередко располагаясь по зонам роста кристаллов, выполняя микропрожилки. Данный тип руды характеризуются высоким извлечением сульфидов и золота в концентрат по флотационной технологии обогащения. Извлечение золота в золотосодержащий концентрат составляет 90,8—96,6% при выходе от 6,4% до 11,3% в зависимости от массовой доли полезного компонента в исходной руде. Массовая доля золота в пробах исходной руды составляет 2,5 и 3,7 г/т. Проведены исследования технологических процессов переработки руды — флотационного, гравитационно-флотационного и с применением процесса флеш-флотации. Результаты исследований показали, что наиболее высокие технологические показатели достигнуты по схеме прямого флотационного извлечения золота из руды. Полученный флотоконцентрат характеризуется высокой массовой долей общей серы (порядка 28—36%) и железа (27—33%) при массовой доле золота до 36 г/т. Золото в концентрате на 97,8% связано в тонкой вкрапленности с сульфидами, которые представлены, преимущественно, пиритом. Потери золота с хвостами флотации составляют до 9,12% и находятся, в основном, в виде субмикроскопической вкрапленности частиц в пустой породе.

Ключевые слова: золото, руда, флотация, сульфиды, реагенты, обогащение, флеш-флотация.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-181-189

Введение

На протяжении более полутора веков социально-экономический облик Южно-Енисейского района Нижнего Приангарья определяла интенсивная разработка богатейших россыпных месторождений золота, практически истощенных к настоящему времени. В связи с реализацией общенационального проекта «Комплексное развитие Нижнего Приангарья» возникает необходимость возрождения золотодобывающей промышленности на основе разработки рудных месторождений [1].

В результате аукциона на получение права пользования участками недр в пределах Раздолинского рудного узла, находящегося в Красноярском крае, золотодобывающая компания «Полюс Красноярск» в лице ее дочернего предприятия ООО «Красноярское ГРП» получила право на разработку месторождений Южно-Енисейского района [2]. Рудный узел расположен в Мотыгинском районе, и объединяет месторождения рудного золота «Змеиное», «Светлое», «Антониновское» и «Попутнинское». Месторождение «Попутнинское» находится в 240 км к югу

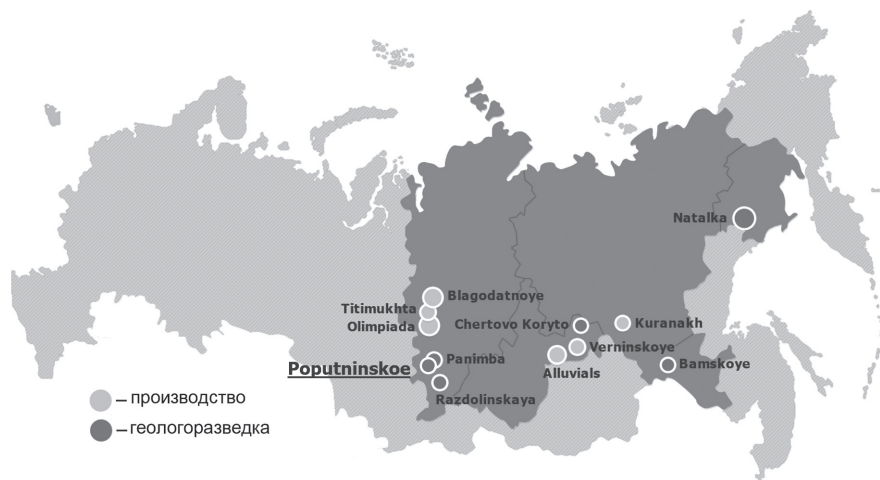


Рис. 1. Расположение месторождения «Попутнинское»
 Fig. 1. «Poputninskoye» deposit location

от ключевого месторождения Полюса — Олимпиады и указано на рис. 1.

В 2011 г. компанией Wardell Armstrong International проведен аудит ресурсов Попутнинского месторождения и Раздолинской площади по стандарту JORC, согласно которому суммарные оцененные и выявленные ресурсы составили 1,4 млн унций золота. Предполагаемые ресурсы — 2,3 млн унций [3].

Цель работы

Целью работы, проведенной в Исследовательском центре АО «Полюс Красноярск», являлась разработка технологии обогащения минерального сырья месторождения «Попутнинское».

В ходе выполнения работы проведен химический, минералогический и рациональный анализ проб первичной руды ТП-1 и ТП-2, отобранных ООО «Красноярское ГРП» и представленных вторыми половинками керна. Проведены исследования на обогатимость с использованием различных схем обогащения руд месторождения «Попутнинское».

Методы

Флотационное обогащение проведено в лабораторных пневмомеханических

машинах Outo-Cumpu OK Lab Cell с объемом камеры 4,0 и 2,0 л и механической флотомашине ФМ-237 производства АО «Механобртехника» с объемом камеры 1,0 л. Изучение технологии гравитационного обогащения песков гидроциклона проведено на центробежном концентраторе Knelson KC-MD3.

Для изучения химического состава руд и продуктов обогащения использовались следующие виды анализа: классический химический, силикатный анализ, спектральный атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой и эмиссионный с просыпкой, атомно-абсорбционный и пробирный на свинцовый верблей.

Детальные исследования характеристик золота, а также сопутствующих им рудообразующих минералов, выполнены методами электронной микроскопии (вторичных и отраженных электронов сканирующего микроскопа LEO EVO H50, Karl Zeiss). Степень раскрытия золота установлена методом MLA. Химический состав минералов исследован методом электронно-зондового микроанализа с использованием системы INCA Energy (Oxford Instruments, Великобритания) при увеличениях до 500 000х.

Таблица 1

Содержание основных элементов в пробах руды месторождения «Попутнинское»
Content of basic elements in the Poputninskoe ore samples

Элементы	Содержание	
	ТП-1	ТП-2
Золото, г/т	3,68	2,55
Сера, %	4,21	1,95
Оксид кремния, %	18,06	41,00

Характеристика минерального сырья

Технологическая оценка первичной руды месторождения «Попутнинское» выполнена на двух объемных пробах. Исследованиями вещественного состава руды и продуктов ее переработки, выполненными лабораторией минералогических исследований АО «Полус Красноярск», установлено:

- При неравномерном распределении сульфидной минерализации в пределах рудного тела месторождения «Попутнинское», основным сульфидным минералом является пирит, ассоциированный с арсенопиритом и герсдорфитом. В качестве редких примесей встречаются сульфиды и сульфоанимониды Fe, Sb, Pb, Zn, Bi и пр.

- В обеих пробах преобладает золото, связанное с сульфидами; количество свободного золота (степень раскрытия) составляет ~35%. Связь золота сульфидами представлена на рис. 2.

Проба ТП-1 с содержанием серы сульфидной, повышенной более чем в

2 раза относительно пробы ТП-2, характеризуется и более высоким содержанием золота: 3,68 г/т, против 2,55 г/т соответственно.

Краткий химический состав проб представлен в табл. 1.

Золото образует многочисленные субмикроскопические, точечные, изометричные, ксеноморфные включения в пирите, подчиняясь зонам его роста, а также, являясь более поздним минералом по отношению к сульфидам, откладывается в поровых пространствах, микропрожилках и трещинах катаклаза в пирите, арсенопирите и герсдорфите. Характер взаимоотношений золота с сульфидами в руде месторождения «Попутнинское» представлен на рис. 3.

Благоприятным фактором при оценке технологических свойств золота является преобладание в руде высокопробного золота (1000‰) и незначительное количество серебросодержащего, с примесью серебра в количестве 3–7%, что подтверждается результатами предыдущих исследований [4].

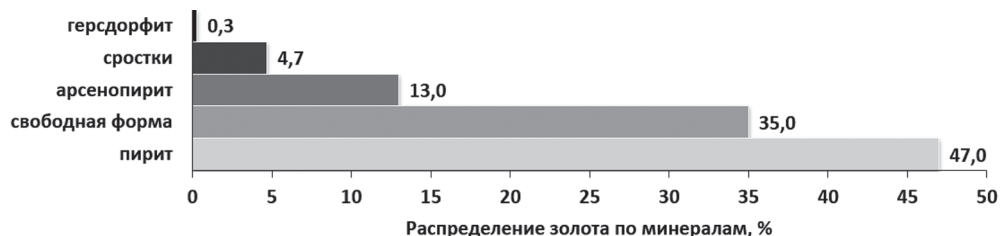


Рис. 2. Степень раскрытия и связь золота с рудообразующими минералами в исходной руде месторождения «Попутнинское»

Fig. 2. Gold release degree and links with ore-forming minerals in the ore of «Poputninskoe» deposit

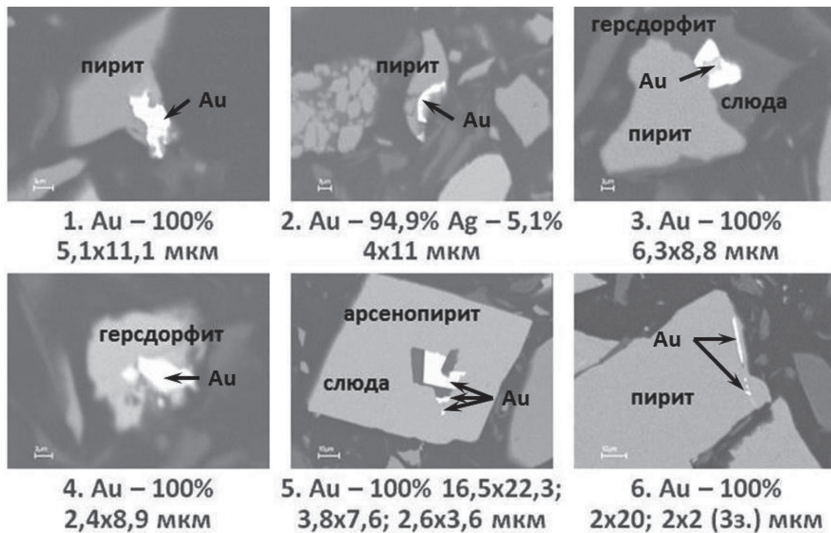


Рис. 3. Срастания и включения золота в сульфидных минералах месторождения «Попутнинское»
Fig. 3. Intergrowth and concretions of gold in a sulfide minerals of «Poputninskoe» deposit

Основными неблагоприятными факторами, обуславливающими поведение золота в технологическом процессе, являются:

- неравномерное распределение золота в рудах;
- тесная ассоциация золота с железосодержащими сульфидами с образованием трудно вскрываемых включений;
- тонкие и ультратонкие размеры выделений золота, предопределяющие трудности в процессе обогащения, как на стадии измельчения руды для оптимального раскрытия минерала, так и при его извлечении в конечный продукт [5].

Полученные данные свидетельствуют о высокой корреляционной связи золота с сульфидами, что позволяет прогнозировать высокое извлечение полезного компонента в сульфидный концентрат при весьма низкой степени его раскрытия вследствие структурных и морфологических свойств.

Технология обогащения минерального сырья

Разработка технологии извлечения золота из руды выполнена в сравнительных

условиях с использованием различных технологических процессов переработки руды.

Были рассмотрены как флотационные схемы без предварительного выделения золота с использованием различных реагентных режимов [6], флотационно-гравитационная схема [7] и схема с применением процесса флеш-флотации [8].

Проведены исследования возможности выделения золота из песков классификации разгрузки мельницы центробежной сепарацией. При значительном выходе гравикоцентрата (до 8% от руды) извлечение золота достигает до 52,74% при содержании в концентрате 24,19 г/т. Хвосты гравитационного извлечения золота из руды направляются на доизмельчение, а слив гидроциклона в процесс флотации.

Данная технологическая схема характеризуется высоким выходом общего концентрата с низким качеством при высоком извлечении ценного компонента в концентрат.

В исследованиях, проведенных на бедной пробе ТП-2, оптимальный выход гравикоцентрата составляет 0,77% от

руды, при извлечении 11,04% и содержании золота в концентрате 36,46 г/т. Остальное золото переходит во флотационный концентрат при небольшом выходе продукта и невысоких потерях с хвостами.

Операция скоростной флотации песков гидроциклона пробы ТП-1 позволяет достичь извлечения во флеш-концентрат 55,33% от руды при выходе 5,78%. При меньшей массовой доле сульфидов в исходной руде второй пробы извлечение составило 18,35% (при выходе 1,85% и содержании золота 25,27 г/т). Хвосты флеш-флотации направляются на доизмельчение. Слив гидроциклона, установленного на разгрузке мельниц, направляется на флотационное обогащение. Общее извлечение золота находится на уровне предыдущей схемы.

Технологические показатели схем представлены в табл. 2.

Флотационное обогащение исходной руды позволяет извлечь в концентрат

до 96,56% золота при флотации богатой руды, с выходом флотоконцентрата 11,28% и содержанием золота в нем 31,34 г/т. При переработке руды с содержанием золота 2,55 г/т извлечение золота составило 90,82% при выходе продукта 6,45%. Технологические показатели представлены в табл. 3.

Схема флотации представлена на рис. 4 и включает основную, две контрольные и две перечистные операции. Камерный продукт основной флотации направляется на две контрольные операции. Камерный второй контрольной флотации является хвостами обогащения, а пенные продукты контрольных направляются в голову предыдущих операций. Пенный продукт основной флотации подвергается двум перечистным операциям.

Камерный продукт первой перечистой флотации направляется в основную операцию, а камерный второй перечистой — в головную машину первой

Таблица 2

Технологические показатели схем обогащения с предварительным выделением золота

Technological parameters of processing circuits with preliminary gold extraction

Продукт	Проба ТП-1			Проба ТП-2		
	выход, %	содержание, г/т	извлечение, %	выход, %	содержание, г/т	извлечение, %
Центробежная концентрация песков и флотация слива гидроциклона						
Гравиоконцентрат	8,00	24,19	52,74	0,77	36,46	11,04
Флотоконцентрат	4,61	35,00	44,08	5,70	35,53	79,43
Итого концентрат	12,61	28,17	96,82	6,47	35,64	90,47
Хвосты флотации	87,39	0,15	3,18	93,53	0,26	9,53
Итого	100,00	3,68	100,00	100,00	2,55	100,00
Флеш-флотация песков и флотация слива гидроциклона						
Флеш-концентрат	5,78	35,13	55,33	1,85	25,27	18,35
Флотоконцентрат	3,00	49,39	40,37	4,82	38,30	72,40
Итого концентрат	8,78	40,10	95,70	6,67	34,68	90,75
Хвосты флотации	91,22	0,17	4,30	93,33	0,25	9,25
Итого	100,00	3,68	100,00	100,00	2,55	100,00

Таблица 3

Технологические показатели флотационной схемы обогащения
Technological parameters of flotation circuit

Продукт	Проба ТП-1			Проба ТП-2		
	выход, %	содержание, г/т	извлечение, %	выход, %	содержание, г/т	извлечение, %
Флотация слива гидроциклона						
Флотоконцентрат	11,28	31,34	96,56	6,45	35,90	90,82
Хвосты флотации	88,72	0,16	3,44	93,55	0,25	9,18
Итого	100,00	3,68	100,00	100,00	2,55	100,00

перечистной операции. Пенный продукт второй перечистой флотации является концентратом флотации и направляется на дальнейшую переработку.

В процессе флотации в качестве активатора используется медный купорос, который подается в контактный чан, для агитации со сливом гидроциклонов, затем в основную операцию подается композиция собирателей, состоящая из бутилового ксантогената калия и дитиофосфата. В качестве вспенивателя в процесс подается полипропиленгликоль. Подача данных реагентов осуществляется как в основную, так и в контрольные операции.

В ходе работы выполнено сравнение схем обогащения, включающих в себя

центробежную концентрацию песков и флотацию слива гидроциклона, операцию флеш-флотации на песках и дальнейшую флотацию слива гидроциклонов, а также схему без предварительного выделения золота.

Из полученных данных видно, что предварительное извлечение золота центробежной концентрацией либо флеш-флотацией не дает прироста общего извлечения, так как при данном реагентном режиме флотационного обогащения все ценные компоненты переходят в концентрат без предварительного выделения.

Потери золота с хвостами флотации составляют от 3,44% до 9,12% при содержании золота в них 0,16 г/т и 0,25 г/т соответственно. Связаны они,

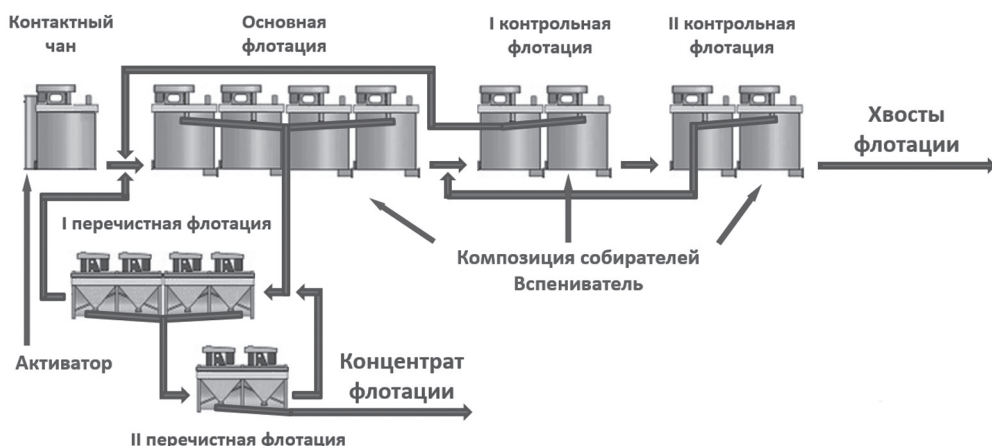


Рис. 4. Схема флотации минерального сырья месторождения «Попутнинское»

Fig. 4. Flotation circuit for the mineral raw materials of «Poputninskoe» deposit

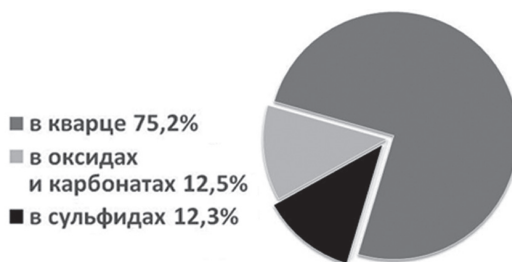


Рис. 5. Распределение золота в хвостах флотации по данным рационального анализа
 Fig. 5. Gold distribution in flotation tails by rational analysis data

Таблица 4

Гранулометрический состав хвостов флотации
Grain size composition of flotation tailings

Класс крупности	Выход, %	Содержание, г/т	Распределение, %
+0,071 мм	19,33	0,33	25,23
-0,071+0,040 мм	24,49	0,30	29,39
-0,040+0,025 мм	11,18	0,25	11,18
-0,025+0 мм	45,00	0,19	34,20
Итого	100,00	0,25	100,00

в основном, с субмикроскопическими включениями золота в кварце. Результаты рационального анализа хвостов флотации представлены на рис. 5.

Распределение металла по классам крупности равномерно, гранулометрический состав хвостов флотации представлен в табл. 4.

Полученный золото-сульфидный концентрат перерабатывается с использованием процессов бактериального окисления и гидрометаллургического извлечения золота [10].

В настоящее время в Исследовательском центре АО «Полус Красноярск» проводится оптимизация реагентного режима флотационного обогащения руд месторождений Раздолинского рудного

узла с использованием различных типов смесевых собирателей — дитиофосфатов и дитиокарбаматов [11–13].

Полученные результаты

1. Установлено, что предварительное выделение золота из минерального сырья месторождения «Попутинское» центробежной концентрацией либо флеш-флотацией не обеспечивает прироста извлечения золота по сравнению с флотацией исходной руды.

2. Рекомендованная технология обеспечивает получение флотоконцентрата с извлечением до 90,82÷96,56% золота, выходом флотоконцентрата 6,45÷11,28% и содержанием золота в нем 35,90÷31,34 г/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сердюк С. С., Кириленко В. А. Геология и перспективы золотоносности южной части Южно-Енисейского рудного района // Журнал СФУ. Техника и технологии. — 2013. — № 8(6). — С. 968.
 2. Сводный государственный реестр участков недр и лицензий // ФГБУ «Росгеолфонд», сайт 2005. URL: <https://old.rfgf.ru/license/itemview.php?iid=2694202&map=2> (дата обращения: 25.11.2018 г.).

3. Пихоя Г. Р., Стешенко Д. А. Годовой отчет ОАО «Полюс Золото» за 2011 год. — С. 15.
4. Дашкевич Е. Г., Неволько П. А., Тимкина А. Л. Минералого-геохимические особенности руд и физико-химические условия формирования Попутнинского золоторудного месторождения (Енисейский край) // Металлогения древних и современных океанов. — 2011. — № 17. — С. 216.
5. Захаров Б. А., Меретуков М. А. Золото: упорные руды. — М.: Руда и металлы, 2013. — С. 452.
6. Dunne R., Adams M. (Ed.). Gold ore processing, 2e, Elsevier, 2016, 315 p.
7. Gül A., Kangal O., Sirkeci A., Önal G. Beneficiation of the gold bearing ore by gravity and flotation // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, Vol. 19, No 2, Feb. 2012, 106 p.
8. Newcombe B., Wightman E., Bradshaw D. The role of a flash flotation circuit in an industrial refractory gold concentrator // Minerals Engineering, Vol. 53, Nov. 2013, pp. 57–73, DOI 10.1016/j.mineng.2013.06.016.
9. Lotter N. O., Bradshaw D. J. The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation // Minerals Engineering, Vol. 23, Issues 11–13, Oct 2010, pp. 945–951, DOI 10.1016/j.mineng.2010.03.011.
10. Скибин С. В. Технологическая и экономическая оценка обогащения руды месторождения «Попутнинское», дис. — Красноярск: СФУ, 2018.
11. Бочаров В. А., Игнаткина В. А. Особенности использования композиций собирателей в технологии селективной флотации пиритных руд цветных металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 168–171.
12. Acarkan N., Bulut G., Gül A., Kangal O., Karakaş F., Kökkiliç O., Önal G. The Effect of Collector's Type on Gold and Silver Flotation in a Complex Ore // Separation Science and Technology, Vol. 46, 2010, Issue 2, pp. 283–289, DOI 10.1080/01496395.2010.512029/
13. Игнаткина В. А., Бочаров В. А., Пунцукова Б. Т., Алексейчук Д. А. Исследования селективности действия сочетания ксантогената и дитиофосфата с тионокарбаматом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2010. — № 3. — С. 105–114. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Скибин Станислав Викторович¹ — ведущий инженер,
e-mail: SkibinSV@polyus.com,

Булгаков Сергей Викторович¹ — главный исследователь,

Савушкина Светлана Ивановна¹ — зав. лабораторией,

¹ Исследовательский центр АО «Полюс Красноярск».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. No. 2, pp. 181–189.

Processing technology for the Poputninskoe deposit ore

Skibin S.V.¹, Leading Engineer,

e-mail: SkibinSV@polyus.com,

Bulgakov S.V.¹, Chief Researcher,

Savushkina S.I.¹, Head of Laboratory,

¹ JSC Polyus Krasnoyarsk Research Center,
660118, Krasnoyarsk, Russia.

Abstract. For over one and a half centuries of socio-economic image of the Motiginsky district of the Lower Angara Region was determined by intensive development of the richest placer gold deposits, significantly depleted to date. In connection with the implementation of the national project «Comprehensive Development of the Lower Angara Region», the gold mining company JSC «Polyus Krasnoyarsk» acquired the right to develop deposits of Motiginsky district of Krasnoyarsk region, in particular the extract of ore gold on a site in the limits Razdolinskaya ore cluster, which has a field «Poputninskoe». Development of technology for processing ore «Poputninskoe» was originally held at the Research center of JSC «Polyus Krasnoyarsk» in 2008. Conducted research on development of technologies of processing of raw materials

for several samples of ores with the development of technology in the industrial process at Olimpiadinskaya concentration factory JSC «Polyus». In 2016 research of the ores was continued for approval of the inventory and subsequent processing on an industrial scale. In primary ore deposits «Poputninskoe» gold has a high fineness and, together with quartz, carbonates, titanium minerals and sulfosalts, tellurides, and forms submicroscopic and microscopic impregnations in sulfides, often located in the zones of crystal growth, performing micro lodes. This type of ore is characterized by high recovery of sulfides and gold in the concentrate enrichment flotation technology. The extract of gold in concentrate is 90.8–96.6 percent at the output from 6.4% to 11.3% depending on grade of useful component in the original ore. Gold grade in the original ore samples is 2.5 and 3.7 g/t. Investigated technological processes of ore processing — flotation, gravity-flotation, and by using the process of flash flotation. The results showed that the highest technological levels achieved by direct flotation of gold extraction from ore. The obtained flotation concentrate is characterized by high mass fraction of total sulfur is of the order of 28–36% and iron — 27–33%, mass fraction of gold to 36 g/t. Gold in concentrate of 97.8% is thin impregnation with sulfides, which are represented mainly by pyrite. The loss of gold in the flotation tailings amount to 9.2% and are mostly in the form of submicroscopic inclusions in gangue.

Key words: gold, ore, flotation, sulfides, reagents, beneficiation, flash-flotation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-181-189

REFERENCES

1. Serdyuk S. S., Kirilenko V. A. Geologiya i perspektivy zolotonosnosti yuzhnoy chasti Yuzhno-Eniseyskogo rudnogo rayona [Geology and Prospects of gold mineralization of South-Yenisei Mining District], *Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii*. 2013, no 8(6), pp. 968. [In Russ].
2. *Svodnyy gosudarstvennyy reestr uchastkov nedr i litsenzyi*. FGBU «Rosgeofond», sayt 2005. URL: <https://old.rfgf.ru/license/itemview.php?iid=2694202&map=2> (accessed: 25.11.2018 r.).
3. Pikhoya G. R., Steshchenko D. A. *Godovoy otchet OAO «Polyus Zoloto» za 2011 god* [OJSC Polyus Gold annual report for 2011], pp. 15.
4. Dashkevich E. G., Nevol'ko P. A., Timkina A. L. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti rud i fiziko-khimicheskie usloviya formirovaniya Poputninskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Eniseyskiy kryazh) [Mineralogical-geochemical features of ores and physico-chemical conditions of formation Poputninskoe gold Deposit (Yenisei ridge)], *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov*. 2011, no 17, pp. 216. [In Russ].
5. Zakharov B. A., Meretukov M. A. *Zoloto: upornye rudy* [Gold: Refractory ores], Moscow, Ruda i metally, 2013, pp. 452.
6. Dunne R., Adams M. (Ed.). *Gold ore processing*, 2e, Elsevier, 2016, 315 p.
7. Gül A., Kangal O., Sirkeci A., Önal G. Beneficiation of the gold bearing ore by gravity and flotation. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Vol. 19, No 2, Feb. 2012, 106 p.
8. Newcombe B., Wightman E., Bradshaw D. The role of a flash flotation circuit in an industrial refractory gold concentrator, *Minerals Engineering*, Vol. 53, Nov. 2013, pp. 57–73, DOI 10.1016/j.mineng.2013.06.016.
9. Lotter N. O., Bradshaw D. J. The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation, *Minerals Engineering*. Vol. 23, Issues 11–13, Oct 2010, pp. 945–951, DOI 10.1016/j.mineng.2010.03.011.
10. Skibin S. V. Tekhnologicheskaya i ekonomicheskaya otsenka obogashcheniya rudy mestorozhdeniya «Poputninskoe» [Technological and economical evaluation of ore beneficiation at Poputninskoye deposit], Krasnoyarsk, SFU, 2018.
11. Bocharov V. A., Ignatkina V. A. Osobennosti ispol'zovaniya kompozitsiy sobirateley v tekhnologii selektivnoy flotatsii piritnykh rud tsvetnykh metallov [Special aspect for use collector compositions in selective flotation process pyrite ores non-ferrous metals] *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 8, pp. 168–171.
12. Acarkan N., Bulut G., Gül A., Karakaş F., Kökkılıç O., Önal G. The Effect of Collector's Type on Gold and Silver Flotation in a Complex Ore. *Separation Science and Technology*, Vol. 46, 2010, Issue 2, pp. 283–289, DOI 10.1080/01496395.2010.512029/
13. Ignatkina V. A., Bocharov V. A., Puntukova B. T., Alekseychuk D. A., Issledovaniya selektivnosti deystviya sochetaniya ksantogenata i ditiofosfata s tionokarbamatom [Analysis of selectivity of thionocarbamate combinations with butyl xanthate and dithiophosphate], *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2010, no 3, pp. 105–114. [In Russ].

