

УДК 662.765:553.43

Гурман Маргарита Анатольевна

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: mgurman@yandex.ru

Полтарецкая Александра Евгеньевна

инженер,
Институт горного дела ДВО РАН

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПЕРВИЧНЫХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ
РУД МАЛМЫЖСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ*****Аннотация:**

При постепенном исчерпании разведанных запасов месторождений богатых и легкообогащаемых медных руд особую значимость приобретают медно-порфировые руды. При низких содержаниях меди месторождения этого типа заключают в себе весьма значительные запасы металла. Помимо меди руды могут содержать молибден, золото, серебро, селен, теллур, рений и другие ценные компоненты. Большая часть мировых запасов меди сосредоточена в месторождениях медно-порфировых руд. В настоящее время Малмыжское золото-медно-порфировое месторождение в Хабаровском крае является крупнейшим в России объектом золото-медно-порфирового типа, при низких содержаниях 0,4 % Cu в его рудах заключено более 5,634 млн т меди и 298 т золота. В работе представлены результаты первого этапа технологических исследований пробы первичных медно-порфировых руд Малмыжского месторождения. Приведены данные химического, минерального, гранулометрического состава руды. Содержание меди в руде составляет 0,5 %, Au – 0,4 г/т, Ag – 1,6 г/т. Руда обладает агрегатно-вкрапленной, тонкопрожилковой и микропротрещиноватой текстурой. Главными рудными минералами являются халькопирит и пирит. Формы выделения этих минералов агрегатные, тонковкрапленные с тесным взаимным прорастанием. Основным минералом меди является халькопирит. Приведены результаты обогащения руды по схеме коллективной флотации. При использовании аэрофлота ИМА-И413 в качестве собирателя получены сульфидные концентраты с извлечением меди – 85–94 % при содержании 3,75–10,77 % Cu в зависимости от крупности измельченной руды и выхода концентрата. Большая часть вмещающих пород 85–89 % с содержанием меди 0,01–0,05 % может быть отнесена к отвальным хвостам.

Ключевые слова: медно-порфировые руды, степень измельчения, коллективная флотация, сульфидный концентрат, извлечение меди

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.094

Gourman Margarita A.

Candidate of Engineering Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Mining, FEB RAS,
Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
email: mgurman@yandex.ru

Poltaretskaya Aleksandra E.

Engineer,
Institute of Mining, FEB RAS,

**TECHNOLOGICAL STUDIES
OF PRIMARY COPPER-PORPHYRY ORES
OF THE MALMYZH DEPOSIT*****Abstract:**

With the gradual exhaustion of the explored reserves of deposits of rich and easily enriched copper ores the copper-porphyry ores acquire special importance. At low copper content, deposits of this type contain very significant metal reserves. In addition to copper, the ores may contain molybdenum, gold, silver, selenium, tellurium, rhenium and other valuable components. Most of the world's copper reserves are concentrated in deposits of copper-porphyry ores. Currently, Malmyzh gold-copper-porphyry deposit in Khabarovsk Krai is the largest object of gold-copper-porphyry type in Russia, with low content of 0.4% Cu, and its ores comprise more than 5.634 million tons of copper and 298 tons of gold. The paper presents the results of the first stage of technological studies of primary copper-porphyry ores of Malmyzh deposit. The paper has quoted the data of chemical, mineral, granulometric composition of ore. Copper content in ore is 0.5%, Au – 0.4 g/t, Ag – 1.6 g/t. The ore has an aggregate-embedded, fine-veined and microcracked texture. The main ore minerals are chalcopyrite and pyrite. The forms for separating these minerals are aggregate, finely disseminated with close mutual germination. The main mineral of copper is chalcopyrite. The paper has presented the results of the ore enrichment according to the scheme of collective flotation. Using the IMA-I413 airfleet as a collector allows to obtain the sulphide concentrates with copper extraction – 85–94% with a content of 3.75–10.77% Cu, depending on the size of the crushed ore and concentrate output. Most of the containing rocks 85–89% with copper content 0.01–0.05% can be attributed to dumps.

Key words: copper-porphyry ores, degree of grinding, collective flotation, sulphide concentrate, copper extraction

* Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Президиума ДВО РАН № 18-2-015

Введение

В месторождениях медно-порфировых руд сосредоточена большая часть мировых запасов меди. Руды отличаются низким содержанием меди (0,4 – 0,8 %), однако их промышленная ценность определяется значительными масштабами минерализации, крупными размерами рудных тел, возможностью разработки открытым способом. Медно-порфировые руды обеспечивают основную часть производства меди и молибдена в мире и являются важным источником получения золота, серебра, селена, теллура, рения [1, 2]. Крупнейшие месторождения медно-порфировых руд сосредоточены в Чили (Чукикамата, Эль-Теньенте), Перу (Токепала); известны в Панаме (Сьерра-Колорадо), США (Бингем-Каньон, Моренси, Мануэль), Канаде (Вэлли-Коппер), в Казахстане (Кунрад), Узбекистане (Кальмакыр), Армении (Каджаран), Монголии (Эрдентуин-Обо), на территории стран бывшей Югославии (Медет, Асарел) и др. [1 – 3].

На территории России расположено несколько месторождений медно-порфировых руд, в настоящее время разрабатывается только одно – месторождение Михеевское – и осваивается Томинское медно-порфировое месторождение (Южный Урал), которые входят в число 50 крупнейших месторождений мира при среднем содержании меди 0,4 %. В Республике Тыва осваивается крупное медно-порфировое месторождение Ак-Сугское, руды которого содержат в среднем 0,67 % Cu. На Дальнем Востоке известно два медно-порфировых месторождения: Песчанка (Чукотский АО) с запасами 3,7 млн т меди с содержанием 0,83 % и Малмыжское (Хабаровский край) [1, 4]. Малмыжское месторождение на сегодняшний день является крупнейшим в стране объектом медно-порфирового типа, в его рудах заключено более 5,634 млн т меди и 298 т золота [5 – 7]. По опубликованным данным [6] в рядовых золото-медно-порфировых рудах (Малмыж) среднее содержание меди составляет 0,3 – 0,6 %, золота – 0,1–0,5 %. Рудная минерализация – вкрапленная, гнездово-вкрапленная, тонкопрожилковая и редко встречаемая – прожилково-жильная благороднометалльно-оксидно-сульфидная в гранодиорит-диоритовых горных породах. Доминирующими рудными минералами являются сульфиды – пирит и халькопирит, которые представлены тонкодисперсными вкраплениями, крупнозернистыми выделениями, гнездовыми обособлениями, прожилками и значительными скоплениями в редких жилах, в том числе ствольных. Основным минералом меди является халькопирит, который нередко образует тесные сростания с пиритом и магнетитом, зерна которых замещает или цементирует. В пирите среди внеструктурных элементов-примесей зафиксированы Ag, Pb, Zn и частично Cu, а среди конституционных примесей – As, Ni, Co и некоторая доля Cu, что отражает характер микропарагенезисов пирита с другими халькогенидами.

Переработка сульфидных медно-порфировых руд, как правило, осуществляется флотационными методами [3, 8, 9]. Технологические схемы флотации разрабатываются с учетом характера вкрапленности и сростания сульфидных минералов; их количества, наличия в них изоморфных примесей, склонности к шламообразованию. Эти факторы оказывают существенное влияние на число стадий и тип флотационной схемы (прямая селективная, коллективная или коллективно-селективная). При флотационном обогащении решаются задачи эффективного отделения сульфидных минералов от породы, разделения сульфидов меди и железа, повышения комплексности использования сырья за счет доизвлечения благородных металлов и других ценных компонентов [10 – 13].

Целью первого этапа технологических исследований было выявление возможности выделения в коллективный концентрат сульфидных минералов меди и железа из первичной медно-порфировой руды с получением отвальных хвостов по меди.

Методы исследования

Объектом исследования являлась технологическая проба первичной медно-порфировой руды, отобранная на одном из участков Малмыжского рудного поля. Представленный материал подвергался стадийному дроблению, грохочению, перемешиванию,

после этого выделялись навески для изучения вещественного состава руды и проведения технологических исследований. Изучение исходной пробы и продуктов обогащения выполнялось с применением петрографического и минералогического анализов при использовании оптической микроскопии (стереомикроскопы Stemi 2000C, Stemi DV40). Измельчение руды выполняли в лабораторной планетарной мельнице «Пульверизетте-5» мокрым способом в следующих условиях: масса навески – 125 г, шаровая нагрузка – 465 г (15 шаров по 31 г), вода – 100 мл; соотношение Q:Ш:V= 1:3,7:0,8; число оборотов – 180 об/мин. Время измельчения варьировалось в интервале 5 – 18 мин. После измельчения навески подвергались ситовому анализу. Опыты по флотации проводились в лабораторных флотомашинах с камерами основной и контрольной флотации – 0,5 и 0,25 л (крупность питания – 57 – 98,6 % класса 0,071 мм; содержание твердого в питании – 50 %; вода водопроводная; pH – 6 – 7; реагентный режим: жидкое стекло (Na₂SiO₃, C₁-0,5 %), аэрофлот ИМА-И413п (C-0,1 %), сосновое масло (A-98 %)). Из всех продуктов флотационного обогащения отбирались пробы на химический анализ. В работе использованы аналитические и физико-химические методы анализов (гравиметрические и титриметрические; спектрохимический и эмиссионный спектральный; спектрофотометрический, атомно-абсорбционный).

Результаты исследования

По данным химического анализа содержание меди в руде составляет 0,5 %, серы – 1,94 %, железа – 4,5 %, Au – 0,4 г/т, Ag – 1,6 г/т.

Руда обладает агрегатно-вкрапленной, тонкопрожилковой и микротрещиноватой текстурой. Минералогическим анализом выявлены халькопирит, пирит, борнит, ковеллин, халькозин, отмечается присутствие магнетита, сфалерита, молибденита. Рудные минералы образуют вкрапления, агрегатные обособления, микро- и тонкие прожилки 0,01 - 0,2 мм в кварцевых, альбит-кварцевых и хлорит-кварцевых метасоматитах. Главными рудными минералами в пробе являются халькопирит и пирит. Формы выделения этих минералов агрегатные с тесным взаимным прорастанием и вкрапленные. Основным минералом меди является халькопирит.

Гранулометрический состав руды, из дробленной до 2 мм, свидетельствует о неравномерном распределении меди, железа, серы. Медью несколько обогащен класс крупности (-2+1мм); концентрация Cu наблюдается в тонких классах менее 0,071 мм, а Fe и S во фракциях -0,2+0,004 мм (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав пробы

Класс крупности, мм	Выход, %	Массовая доля, %			Распределение, %		
		Cu	Fe	S	Cu	Fe	S
-2+1	45,62	0,56	4,18	1,48	48,86	40,99	34,8
-1+0,5	18,33	0,39	4,51	1,97	13,67	17,77	18,6
-0,5+0,2	13,09	0,47	5,03	2,03	11,77	14,15	13,7
-0,2+0,1	6,14	0,49	5,93	3,63	5,76	7,83	11,5
-0,1+0,071	2,32	0,61	6,25	3,87	2,70	3,11	4,63
-0,071+0,04	3,32	0,66	6,47	3,58	4,20	4,62	6,14
-0,04	11,18	0,61	4,80	1,82	13,04	11,53	10,5
Итого	100,0	0,52	4,65	1,94	100,0	100,0	100,0

На рис. 1 представлена зависимость выхода класса -0,071 мм, которым характеризуется крупность полученного материала, от продолжительности измельчения.

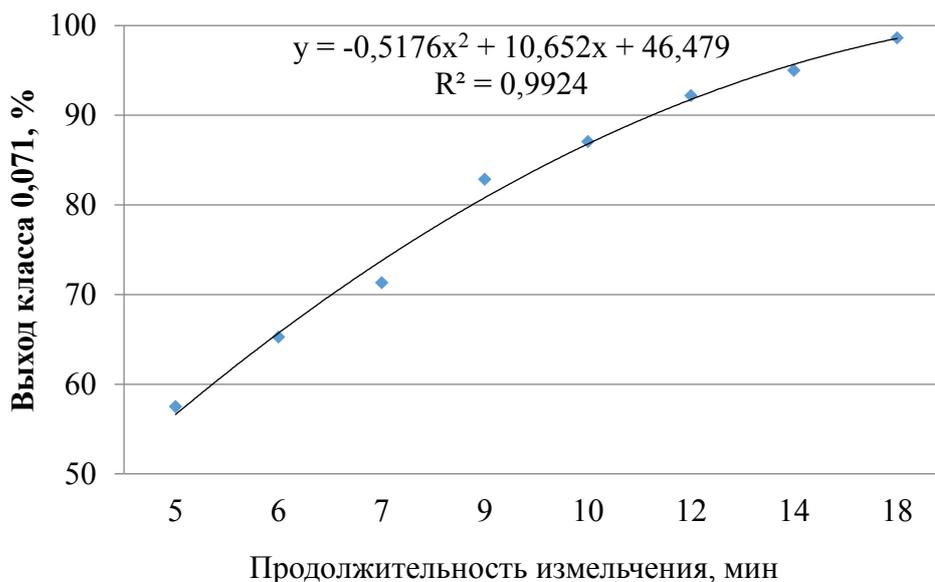


Рис. 1 – Зависимость выхода класса -0,071 мм от продолжительности измельчения

Флотационные опыты проводились при различной крупности измельчения с перечисткой концентратов основной и контрольной флотации. На рис. 2 представлена схема коллективной флотации руды при исследовании влияния крупности измельчения на извлечение меди в сульфидный концентрат.

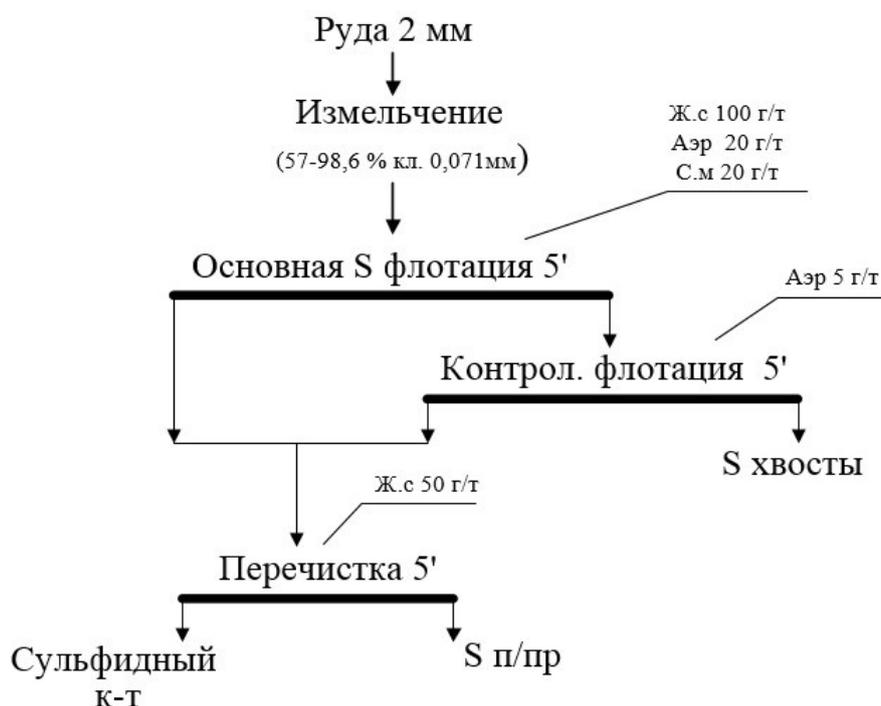


Рис. 2 – Схема коллективной флотации

Согласно полученным данным степень извлечения меди в коллективные сульфидные концентраты достигает 85 – 94 % в зависимости от крупности руды, подаваемой на флотацию (рис. 3). Такие значения извлечения объясняются незначительным содержанием в составе руды окисленных медных минералов (0,014 %), а также глинистых частиц, осложняющих процесс флотации.

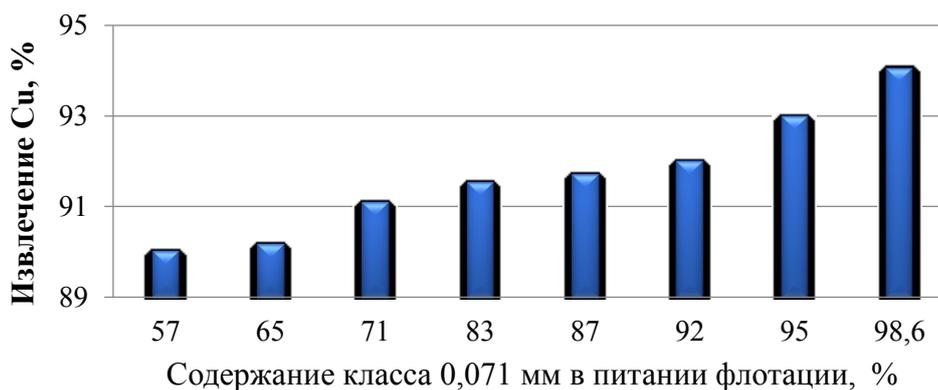


Рис. 3 – Извлечение меди в коллективный концентрат

Извлечение меди в концентрат свыше 90 % может достигаться и при более грубом измельчении руды 57 – 65 % класса 0,071 мм, обеспечивающем освобождение (или частичное освобождение) медных сульфидных минералов и их агрегатов из сростков с пустой породой. При увеличении степени измельчения руды от 57 до 65 % класса 0,071 мм извлечение повышается на 0,14 % при повышении качества концентрата. Дальнейшее увеличение степени измельчения способствует росту извлечения меди до 94 %, однако при этом наблюдается увеличение выхода промпродукта. Содержание меди в полученных сульфидных концентратах составляет 3,75 – 10,77 % в зависимости от их выхода (рис. 4, 5).

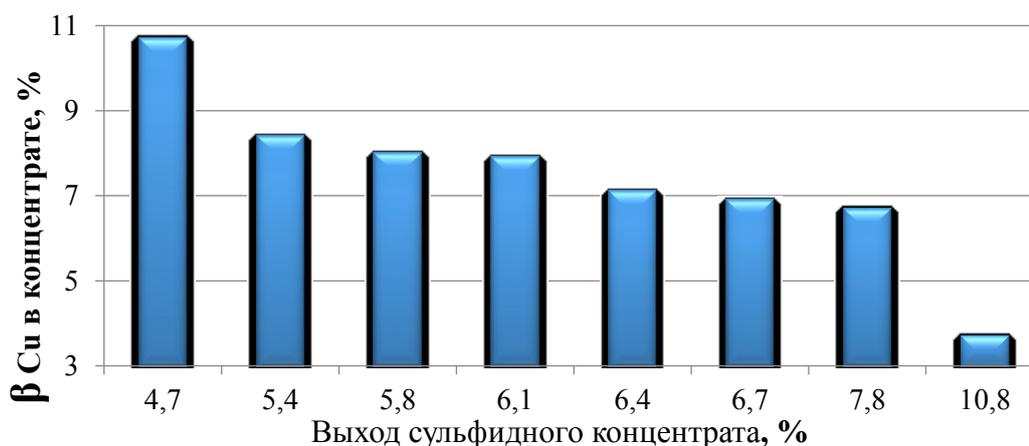


Рис. 4 – Содержание меди в коллективных концентратах



Рис. 5 – Сульфидный концентрат с содержанием 10,77 % Cu и хвосты коллективной флотации с содержанием 0,02 % Cu

В процессе флотации часть сульфидов остается в виде тонких сростков с вмещающими минералами и извлекается в промпродукты, которые будут подвергаться перефлотации в замкнутом цикле основной схемы или в отдельном цикле обогащения. Потери меди с хвостами связаны с тонкой вкрапленностью халькопирита, а также с наличием налетов и пленок гидроокислов железа на поверхности некоторых зерен халькопирита, затрудняющих его флотацию. Содержание меди в промпродуктах составляет 0,45 – 0,11 %, в хвостах – 0,01 – 0,05 % (рис. 6).

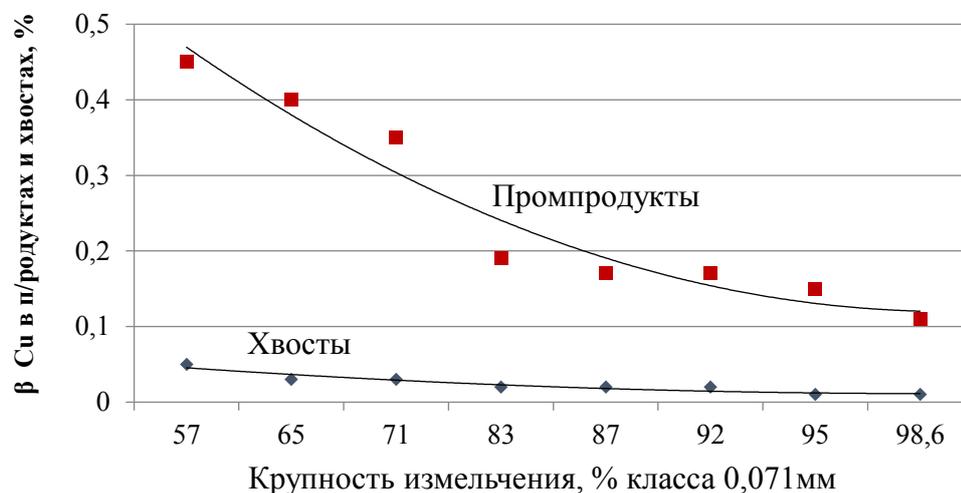


Рис. 6 – Содержание меди в промпродуктах и хвостах сульфидной флотации

Выводы

Результаты первого этапа технологических исследований пробы медно-порфировой руды Малмыжского месторождения сводятся к следующему:

- Руда обладает агрегатно-вкрапленной, тонкопрожилковой и микротрещиноватой текстурой. Главными рудными минералами являются халькопирит и пирит. Формы выделения этих минералов агрегатные, тонковкрапленные с тесным взаимным прорастанием. Основным минералом меди является халькопирит.

- При использовании аэрофлота ИМА-И413 в качестве собирателя получены сульфидные концентраты с извлечением меди – 85 – 94 % при содержании 3,75 – 10,77 % Cu в зависимости от крупности измельченной руды и выхода концентрата.

- Большая часть вмещающих пород – 85 – 89 % с содержанием меди 0,01 – 0,05 % может быть отнесена к отвальным хвостам. Содержание меди в сульфидных промпродуктах составляет 0,45 – 0,11 %.

Дальнейшие исследования будут посвящены вопросам селективной флотации медно-порфировой руды для разделения сульфидов меди и сульфидов железа, представленных пиритом, оптимизации реагентных режимов, распределения золота и серебра в продуктах обогащения.

Литература

1. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах. - М., 2018. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://mnr.gov.ru/>

2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. - М., 2007. - 39 с.

3. Абрамов А.А. Технологии переработки и обогащения руд цветных металлов. В 2-х кн. / А.А. Абрамов. - М.: МГГУ, 2005. – Кн. 2. - 575 с.
4. Десяткин А.С. Современные тенденции и проблемы освоения медно-порфировых месторождений Российской Федерации / А.С. Десяткин, Л.Г. Гайсина // Экологический вестник России. - 2018. - № 4. - С. 42 - 46.
5. Малмыж - новая крупная золотомедно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине / А.Ф. Читалин, А.А. Ефимов, К.И. Воскресенский и др. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2013. - № 3. - С. 65 – 69.
6. Иванов В.В. Минералого-геохимические особенности рудной минерализации в метасоматитах золотомедного рудного поля Малмыж (Нижнее Приамурье) / В.В. Иванов, В.В. Кононов, Е.К. Игнатьев // VIII Косыгинские чтения "Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: материалы Всероссийской конф. - Хабаровск, 2013. - С. 258 – 261.
7. Буханова Д.С. Условия формирования Au-Cu-порфирового месторождения Малмыжское (по данным исследования флюидных включений) / Д.С. Буханова, П.Ю. Плечов // Вестн. КРАУНЦ. - 2017. - Т. 34. - № 2. - С. 61 - 71.
8. Сатаев И. Ш. О мировой практике обогащения медно-порфировых руд (обзор). Обогащение руд / И.Ш. Сатаев, В.Ф. Баранов. - 2011. - № 4. – 45 – 49.
9. S.M. Bulatovic, D.M. Wyslouzil, C. Kant / Operating practices in the beneficiation of major porphyry copper/molybdenum plants from Chile: innovated technology and opportunities, a review / Miner Eng, 11 (4). - 1998. - P. 313 – 331.
10. Hassanzadeh A, Farhadi E, Azizi A. Modeling and analysis of residence time distribution in industrial mechanical flotation cells. In: Proceedings of 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey. Antalya, Turkey; 2015. - P. 757–763.
11. Рассказова А.В. Исследование возможности переработки золошлаковых отходов Хабаровской ТЭЦ-1 флотационным методом / А.В. Рассказова, А.Е. Полтарецкая // Проблемы недропользования. – 2018. - № 2(17). – С. 140 – 145.
12. Саматова Л. А. Повышение извлечения цветных и благородных металлов с использованием аэрофлотов при флотации шеелит-сульфидных руд / Л.А. Саматова, В.И. Рябой, Е.Д. Шепета // ФТПРПИ. - 2013. - № 6. - С. 151 – 157.
13. Гурман М.А. Флотация в схемах переработки упорных золотосодержащих руд / М.А. Гурман, Л.И. Щербак // Горный журнал. – 2018. – № 10. – С. 57 – 62.