



ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛЬМАКЫР

Холикулов Д.Б. ^{1[0000-0001-6968-9297]}, **Нормуротов Р.И.** ^{2[0009-0001-5889-7418]},
Ниязметов Б.Е. ^{3[0009-0003-0672-7200]}

*1Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета,
заместитель директора по научной работе и инновациям, д.т.н., профессор,
E-mail: doniyor_xb@mail.ru*

*2АО «Навоийский ГМК», ведущий инженер Инновационно-технической службы
Рудоуправления «Кызылкум», к.т.н., доцент, E-mail: r.normurotov@ngmk.uz
3АО «Алмалыкский ГМК», ведущий инженер Учебного центра,
E-mail: b.niyazmetov@agmk.uz*

Аннотация. При разработке сульфидных медных руд месторождений Кальмакыр накапливается миллионы тонн окисленных медных руд. Настоящее время эти окисленные медные руды накапливаются в отвалах. Переработка окисленных медных руд проводится флотационным и гидрометаллургическим методом. Подготовка руд к металлургической переработке оказывает решающее влияние на конечные технико-экономические показатели металлургического передела. В работе изучено физико-химических свойств окисленных медных руд. Для получения необходимой информации о свойствах руды проводится отбор средний технологической пробы, который является ответственным процессом. Окисленная медная руда представляет собой смесь зерен различной крупности от долей микрометра до сотен миллиметров. Определена доля свободных зерен комплекса окислов меди. Основная часть руды измельчается в начале процесса в течении 10 минут.
Ключевые слова: окисленная медная руда, отбор технологический пробы, схема подготовки, методика разделки руды, физико-химическая свойства.

Abstract. Millions of tons of oxidized copper ores are accumulated during the development of sulfide copper ores at the Kalmakir deposits. Currently, these oxidized copper ores are accumulated in dumps. Processing of oxidized copper ores is carried out by flotation and hydrometallurgical methods. Preparation of ores for metallurgical processing has a decisive influence on the final technical and economic indicators of metallurgical processing. The work studies the physicochemical properties of oxidized copper ores. To obtain the necessary information about the properties of the ore, a process sample is taken, which is a responsible process. Oxidized copper ore is a mixture of grains of varying sizes from fractions of a micrometer to hundreds of millimeters. The proportion of free grains of the copper oxide complex is determined. The main part of the ore is crushed at the beginning of the process for 10 minutes. Key words: oxidized copper ore, technological sampling, preparation scheme, ore cutting method, physical and chemical properties.

Keywords: oxidized copper ore, technological sampling, preparation scheme, ore cutting method, physical and chemical properties.

Annotatsiya. Qalmoqqir konlarida sulfidli mis rudalarini qazib olish jarayonida millionlab tonna oksidlangan mis rudalari to'planadi. Hozirgi vaqtda bu oksidlangan mis rudalari chiqindi uyumlariga to'planmoqda. Oksidlangan mis rudalarini qayta ishlash flotatsiya va gidrometallurgiya usullari yordamida amalga oshiriladi. Rudalarni metallurgik qayta ishlashga tayyorlash metallurgik qayta ishlashning yakuniy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi. Ishda oksidlangan mis rudalarining fizik va kimyoviy xossalarni o'rganilgan. Rudaning kerakli xususiyatlari haqida ma'lumotlarni olish uchun mas'uliyatli jarayon bo'lgan o'rta texnologik namuna olinadi. Rudaning xususiyatlari haqida kerakli ma'lumotlarni olish uchun mas'uliyatli jarayon bo'lgan jarayon namunasi olinadi. Mis oksidi kompleksining erkin donalari nisbati aniqlandi. Rudaning asosiy qismi jarayonning boshida 10 daqiqa davomida eziladi.

Tayanch so'zlar: oksidlangan mis rudasi, texnologik namuna olish, tayyorlash sxemasi, rudani bo'laklarga bo'lish metodikasi, fizik-kimyoviy xossalari.



Введение

Акционерное общество «Алмалыкский ГМК» планирует увеличить производство меди до 400 тысяч тонн в 2028 году. Согласно Постановления Президента Республики Узбекистан [1] в 2021-2025 гг. в комбинате планируется освоить карьер на месторождении «Ёшлик-I» и построить медно-обогадательную фабрику производительностью 60 млн. тонн в год [2].

Окисленные медные руды являются комплексными, содержат минералы меди, железа, цинка, свинца и молибдена. Содержание приесей в таких типах руд колеблется от 0,1 г/т до 10 г/т. При геолого-промышленной оценке месторождений учитывается ценность попутных компонентов [3].

Месторождения окисленных медных руд известны в России (Турьинская группа) в Западной Сибири (Юлия), Казахстане (Саяк), Мексике (Долорес), США (Клифтон, Бисби) и др. Содержание меди в руде на некоторых месторождениях достигает до 10 % [4].

Окисленные медные руды месторождения «Кальмакыр» находятся в Алмалык-Ангренском промышленном районе с развитой горнодобывающей и металлургической промышленностью [5-6]. По данным [7] на месторождении «Кальмакыр» накопилось около 70 млн. тонн забалансовых окисленных руд.

Минеральный состав окисленных медных руд изучен многими исследователями [8-12], и они характеризуются наличием сложных минералов, в которых медь находится в связанной форме с: хризокolloй, псевдомалахитом, либетенитом, бирюзой, элитом, медистым галлаузитом, смесью каолинита с хризокolloй [7]. Содержание металлов и свойства забалансовых окисленных руд резко отличаются по отвалам [13-17]. Подготовка технологических проб для проведения исследований и анализов включает операции отбора проб, дробления, измельчения, перемешивания, грохочения, сокращения и отбора средней навески [17-19]. Отбор пробы для проведения лабораторных и научно-исследовательских опытов является самым ответственным процессом. Получение достоверных результатов зависит от качества выполненной работы, поэтому все работы, связанные с отбором проб, должны проводиться в соответствии с утвержденным регламентом [20]. В целях выбора рациональной технологии переработки окисленных руд месторождения «Кальмакыр» необходимо изучить химический, гранулометрический составы, распределение ценных компонентов по классам крупности, а также измельчаемость руд.

В работе [18] приведена методика определения насыпного и удельного веса, а также разделки проб окисленной медной руды.

Методика проведения экспериментов

Окисленная медная руда представляет собой смесь зерен различной крупности от долей микрометра до сотен миллиметров. Соотношение массовых содержаний зерен различной крупности, входящих в состав полезного ископаемого, называется гранулометрическим составом и определяются в результате ситового, седиментационного, микроскопического и других анализов. Ситовый анализ проводится на аналитической просеивающей машине марки ASM 200 фирмы SIEBTECHNIK TEMA (Нидерланды) для определения массовых выходов отдельных классов в полезном ископаемом, а также содержания в этих классах меди, золота, серебра, железа, серы и кремнезема. Просеивающая машина ASM 200 представляет собой машину гравитационного просеивания (Рис.1). Такие машины

используются для автоматического разделения всех просеиваемых сыпучих материалов на отдельные фракции зерен для воспроизводимого определения распределения размеров зерен.



Рис. 1. Просеивающие машины марки ASM 200.

Разделение пробы мелкозернистых материалов (крупностью до 6 мм) осуществляется с помощью механических встряхивателей [21]. Измельчение проб руды произвели на истирателе вибрационном стаканчиковом марки ИВС-4 (75Т-ДРМ) компании НПК «Механобр-техника» (АО) (Россия). Оборудование предназначено для доистирания проб в периодическом режиме сухим способом (Рис.2)

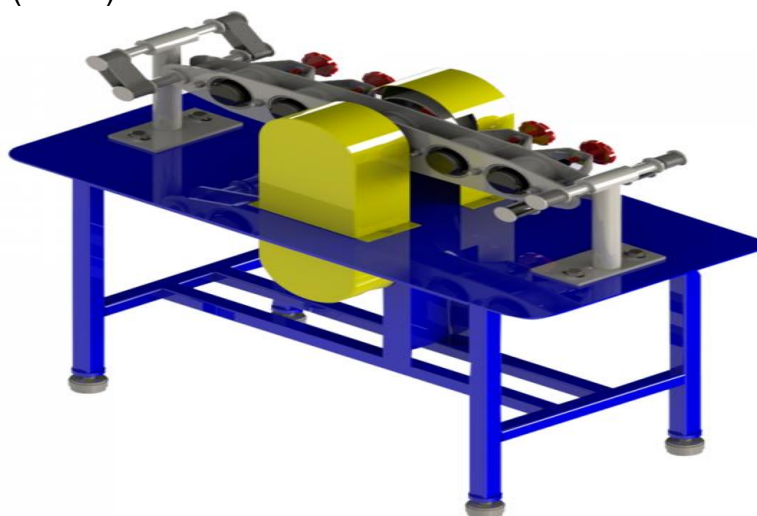


Рис. 2. Истиратель вибрационный стаканчиковый (чашевый) марки ИВС-4 (75Т-ДРМ).

Экспериментальная часть

Для проведения исследований по определению свойств руды отобрано 1500 кг руды геолого-технологического картирования отвалов окисленных медных руд АО «Алмалыкский ГМК» характеризующий руду отвала №39. При различной крупности измельчения в оксидной медной руде распределение комплекса окислов меди по степени раскрытия носит разный характер. Доля свободных зерен комплекса окислов меди варьирует от 8,39% до 16,4% (Рис.3).

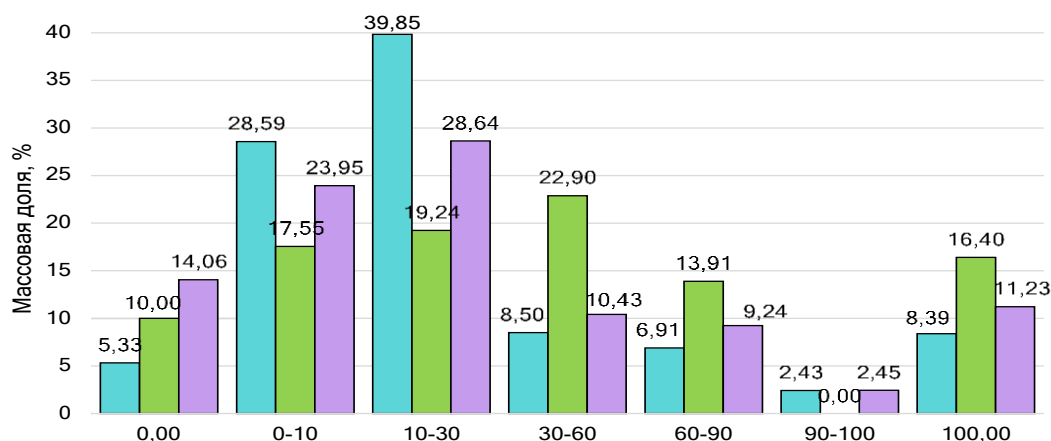


Рис. 3. Распределение комплекса окислов меди по степени раскрытия.

По данным о минеральных ассоциациях комплекса окислов меди установлено, что для растворов и реагентов при различной крупности измельчения руды доступно 26,21-36,20% поверхности минералов. Основная масса комплекса окислов меди ассоциирует в большей степени со слюдистыми и глинистыми минералами – 13,53-31,61%, с окислами железа – 7,25-16,49%, комплексом сульфидов меди – 3,33-16,78%, хлоритом – 8,2-16,44%, кварцем – 4,29-5,87% и полевыми шпатами – 4,42-6,78%. Относительно повышенная доля комплекса окислов меди при Р80 200 мкм находится в сростках с аксессуарными минералами – 5,16%, а при Р80 74 мкм, с карбонатами – 3,63%. С остальными минералами при различной крупности измельчения руды ассоциирует незначительное количество комплекса окислов меди.

При ситовом анализе дробленной (-3 мм) пробы (табл. 1), установлено, что, основная часть 49,78 % меди находится в размере руды крупностью +21 мм, 20,52 % меди находится в руде крупностью - 0,044 мм. При уменьшении размеров частиц руды содержание золота и серебра увеличивается.

Таблица 1.
Ситовая характеристика и распределение металлов по классам крупности

Класс, mm	Выход, g	Выход, %	Содержание металлов, %					
			Cu	Au, г/т	Ag, г/т	Fe	S	SiO ₂
+0,5	1675	37,22	0,76	0,67	1,73	6,58	0,16	60,82
+0,21	565	12,56	0,78	0,87	3,53	7,42	0,14	62,03
-0,21+0,15	149,0	3,31						
-0,15+0,10	630	14,00	0,87	1,05	3,95	7,7	0,21	59,84
-0,10+0,071	194,5	4,32						
-0,071+0,044	363	8,07	0,90	1,40	3,71	8,40	0,19	55,16
-0,044	923,5	20,52	1,08	1,84	4,36	8,12	0,23	49,65
Итого	4500	100,00	0,86	1,07	3,12	7,38	0,18	58,08

На основании полученных сведений физико-механических свойств руды принимается решение по выбору технологии обогащения, и выбираются схемы и аппараты для подготовки руды к процессу обогащения.



При исследовании технологических проб определены физико-механические свойства окисленной медной руды:

- крепость по шкале Протодяконова – 9,1;
- влажность – 2,5 %;
- плотность - 2,74 г/см³;
- насыпной вес - 1,64, г/см³;
- пористость – 40 %.

Представительные пробы руды отвала №39 представлены крупнокусовым материалом. В ходе исследования физико-механических свойств проб выполнены тесты по выявлению индексов ударного дробления, абразивности, шарового и стержневого измельчения по методикам Бонда.

Рабочий индекс абразивности по Бонду (Ai) – это коэффициент, который используют для расчета скорости износа футеровки в дробилках и мельницах, а также расхода шаров, стержней и бандажей. Окисленная медная руда варьируется от низкоабразивных до среднеабразивных руд. По результатам исследования на дробимость руды по методике Бонда (рабочий индекс дробления CWi) рассчитываются параметры промышленных дробилок.

Результаты определения рабочего индекса ударного дробления Бонда (CWi): рабочий индекс ударного дробления Бонда (CWi) - 3,3 кВт·ч/т; средняя толщина образца - 54,55 мм; диапазон крепости руды - от очень мягких до умеренно мягких; средняя плотность образца - 2,51, г/см³.

Рабочий индекс измельчения BWi является основанием определения параметров промышленных шаровых мельниц. Индекс определяют по результатам сухого измельчения исследуемой пробы руды в лабораторной шаровой мельнице и составил 11,57 кВт·ч/т. Показатель индекса измельчаемости является основанием для расчета параметров промышленной стержневой мельницы. Индекс чистой работы по Бонду определяют по результатам сухого измельчения руды в стержневой мельнице. Показатель рабочего индекса стержневого измельчения варьируется от 11,04 (очень низкая упорность к измельчению) до 16,20 кВт·ч/т (умеренно высокая упорность к измельчению). Анализ данных, полученных при изучении физико-механических свойств проб окисленной руды Алмалыкского ГМК, показал следующее: значение рабочего индекса ударного дробления (CWi) представлено диапазоном от 3,30 до 7,09 кВт·ч/т. Данные значения CWi позволяют сделать вывод, что пробы варьируются от очень мягких до умеренно мягких руд к процессу ударного дробления. Самое низкое значение CWi получено для пробы №39 – 3,30 кВт·ч/т. Измельчаемость зависит от характеристик используемого оборудования (режим работы) и исходного материала (гранулометрический состав, минералогический состав, твердость минералов, излом минерала и др.). После заданного времени измельченный продукт подвергали мокрому грохочению для определения выхода класса -0,074мм. Результаты мокрого измельчения (выхода класса -0,074 мм) в зависимости от продолжительности процесса измельчения приведены в табл.2 и рис.4.

Таблица 2.

Зависимость выхода класса -0,074 мм от продолжительности процесса измельчения

Продукты	Время измельчения, мин											
	исх		5		10		15		20		25	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Класс крупности +0,074 мм	550	68,8	396	49,5	349	43,6	238	29,7	170	21,2	139	17,4



Класс крупности -0,074 мм	250	31,2	404	50,5	451	56,4	562	70,3	630	78,8	661	82,6
Исходная проба	800	100	800	100	800	100	800	100	800	100	800	100



Рис. 4. Зависимость выхода класса -0,074 мм от времени измельчения.

Измельчение осуществлялось в истирателе вибрационном стаканчиковом марки ИВС-4 (75Т-ДРМ), сухим способом. После заданного времени измельченный продукт подвергали мокрому грохочению для определения выхода класса - 0,074мм. По результатам мокрого измельчения (выхода класса -0,074 мм) в зависимости от продолжительности процесса измельчения можно сделать вывод о том, что основная часть руды измельчается в начале процесса в течении 10 минут (табл.3 и рис.5).

Таблица 3

Зависимость выхода класса -0,074 мм от времени измельчения

Продукты	Время измельчения, мин											
	исх		5		10		15		20		25	
	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
Класс крупности +0,074 мм	68 8	68, 8	30 8	30, 8	20 2	20, 2	14 9	14,9	13 3	13, 3	106	10,6
Класс крупности -0,074 мм	31 2	31, 2	69 2	69, 2	79 8	79, 8	85 1	85,1	86 7	86, 7	894	89,4

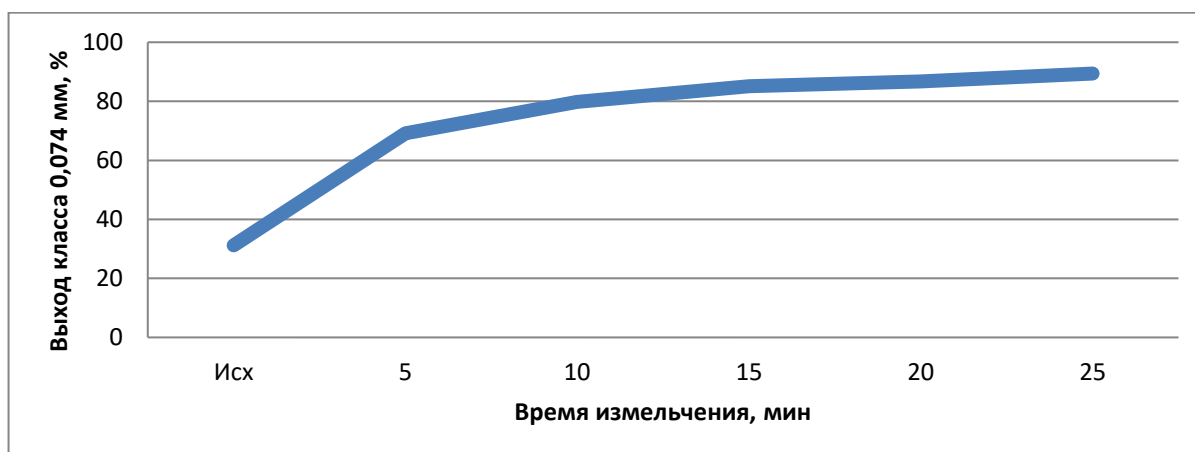


Рис. 5. Зависимость измельчаемости руды от времени процесса



Закключение

На основании проведенных исследований определена методика проведения исследований и доля свободных зерен комплекса окислов меди, которая варьируется от 8,39% до 16,4%. При ситовом анализе дробленной (-3 мм) пробы, установлено, что, основная часть меди 49,78 % находится в размере руды крупностью +21 мм, 20,52 % меди находится в руде крупностью - 0,044 мм. Установлено, что основная часть руды измельчается в начале процесса в течении 10 минут.

Список использованных литератур:

- [1]. Постановление Президента Республики Узбекистан. № ПП-4731 О дополнительных мерах по расширению производства цветных и драгоценных металлов на базе месторождений АО «Алмалыкский ГМК». г. Ташкент, 26 мая 2020 г.
- [2]. Временная инструкция по применению классификации запасов к месторождениям медных руд. Зарегистрирована Министерством юстиции Республики Узбекистан от 26 августа 1997 года. Регистрационный № 360.
- [3]. Жанатулқ Ерасыл. Разработка комбинированной гравитационно-флотационной технологии переработки медных руд месторождения Коктасжал. Магистерская диссертация. Satbayev University. 2022. С. 53.
- [4]. Elchiyeva M.D., Xoliqulov D.B., Boltayev O.N. "Olmaliq KMK" AJ sharoitida oksidlangan mis rudalarini qayta ishlash imkoniyatlari // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. 2024. №1.
- [5]. <https://agmk.uz/ru/mining/rudoupravlenie-kalmakyr>
- [6]. Рахманов И.Ю., Абдурахмонов С.А., Шакаров Т.И., Результаты исследования по изучению физико-химических свойства забалансовых окисленных руд месторождения «Кальмакыр». Горный вестник Узбекистана, №1 (88). 2022. стр. 47-50. DOI:10.54073/GV.2022.1.88.014.
- [7]. Санакулов К.С. Перспективы переработки окисленных медных руд месторождения Кальмакыр. Горный вестник Узбекистана, №3. 2009. стр.47-50.
- [8]. Холикулов Д.Б., Бекбутаев А.Н., Ниязметов Б.Е., Нормуротов Р.И. Переработка окисленных медных руд месторождения Кальмакыр. Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований: труды V Конгресса с международным участием и конференции молодых ученых «ТЕХНОГЕН-2021». – Екатеринбург: УрО РАН, 2021 – 420 с. С. 132-135.
- [9]. Холикулов Д.Б., Ниязметов Б.Е., Бекбутаев А.Н., Гайратов Б.Г. Исследование по извлечению меди из окисленных руд АО «Алмалыкский ГМК» агитационным серноокислотным выщелачиванием. // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Холикулов Д.Б. [и др.]. 2022. 1(94). С. 46-51.
- [10]. Исроилов А.Т., Ходжаев А.Р., Ниязметов Б.Е., Холикулов Д.Б. Обогащение забалансовых медных руд месторождения «Кальмакыр» АО «Алмалыкский ГМК» // Материалы междунар. науч.-практической. конф. «Современные проблемы и инновационные технологии решения вопросов переработки техногенных месторождений Алмалыкского ГМК», г. Алмалык, 18–19 апреля 2019 г. – С. 58–60.
- [11]. Вохидов Б.Р., Бабаев М.Ш. Исследование отвальных руд с извлечением меди и благородных металлов // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 11(104). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14628>.



- [12]. Саидахмедов А.А., Амриддинов М.К., Муродиллаева С.О. Исследование переработки окисленных забалансовых руд АО «Алмалыкский ГМК» // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2023. 11(116).
- [13]. Аксенов А.В., Васильев А.А., Яковлев Р.А., Серёдкин Ю.Г. Опыт исследования и разработки технологии кучного выщелачивания окисленных руд медно-порфириновых месторождений // Вестник ИрГТУ. 2013. №6 (77). URL:
- [14]. Зубков А.А., Абрамов А.А., Шуленина З.М. Поведение водорастворимой меди при переработке окисленных медных руд. Цветные металлы. 2012.
- [15]. Воробьев А.Е., Зубков А.А., Чекушина Т.В. Перспективные технологии переработки окисленных руд и металлоносных растворов // Обогащение руд. 2010. № 3. С. 26–30.
- [16]. Sheng Q.Y., Yin W.Z., Yang B., Chen K.Q., Sun H.R. Promotion of oxidation pretreatment on sulfidation of cuprite surface and its contribution to flotation Miner Eng, 174 (2021), Article 107256.
- [17]. Холикулов, Д.Б., Самандаров, И.Р. Подготовка технологической пробы окисленных медных руд месторождений Кальмакыр к лабораторным испытаниям // ORIENSS. 2024. №6.
- [18]. Рябкин В.К. Отбор технологических проб при геологоразведочных работах на рудные полезные ископаемые. ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского». Москва, 2014. -29 с.
- [19]. ГОСТ 6613-86. Группа В76. Межгосударственный стандарт сетки проволоочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия.
- [20]. Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е. Преимущества гравитационно-флотационной технологии переработки отходов россыпной золотодобычи Горный журнал. 2022, №4 10.17580/gzh.2022.04.14.
- [21]. Матвеева Т.Н., Громова Н.К., Ланцова Л.Б., Поперечникова О.Ю. Разработка и испытание селективных реагентов для флотации комплексных золотосодержащих руд Горный журнал. 2023, №10 10.17580/gzh.2023.10.02.