

УДК 622.765

**К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕАГЕНТОВ
МОРФОЛИНДИТИОКАРБАМАТА И ЦИАНЭТИЛДИЭТИЛДИТИОКАРБАМАТА
С НИЗКОРАЗМЕРНЫМ ЗОЛОТОМ НА ПОВЕРХНОСТИ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ
ПРИ ФЛОТАЦИИ ТРУДНООБОГАТИМЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД**

Т. Н. Матвеева, Н. К. Громова, Л. Б. Ланцова, О. И. Гладышева

*Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН,
E-mail: tmatveyeva@mail.ru, Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

Методами УФ-спектроскопии, потенциометрии, лазерной и электронной микроскопии научно обоснован и экспериментально подтвержден механизм взаимодействия новых комплексообразующих реагентов класса дитиокарбаматов МДТК и ЦЭДЭТК с низкоразмерным золотом на поверхности золотосодержащих сульфидов. Установлена различная степень покрытия поверхности сульфидных минералов реагентом ЦЭДЭТК, обеспечивающая селективную гидрофобизацию и эффективное извлечение микро- и наноразмерного золота из комплексных золотосодержащих руд. Характером изменения электродного потенциала халькопирита подтверждена активная химическая адсорбция МДТК с образованием прочного комплексного соединения МДТК-Си и преобладание физической формы закрепления ЦЭДЭТК в адсорбционном слое минерала. Результаты лабораторных тестов на пробе золотосодержащей руды Олимпиадинского месторождения показали, что применение реагентов МДТК и ЦЭДЭТК в сочетании с бутиловым ксантогенатом обеспечивает повышение качества концентратов и прирост извлечения золота на 6–7 %.

Сульфидные золотосодержащие руды, халькопирит, арсенопирит, флотация, ксантогенат, морфолиндитиокарбамат, цианэтилдитиокарбамат

DOI: 10.15372/FTPRPI20220410

Создание современных технологий извлечения цветных и благородных металлов из технологически упорного сырья является актуальной научно-технической проблемой горно-перерабатывающей промышленности. Основной прирост производства благородных и цветных металлов планируется получить за счет привлечения в эксплуатацию технологически упорных золотых, медно-золотых и комплексных руд.

Труднообогатимыми считаются руды с низким содержанием ценных компонентов и эмульсионной вкрапленностью благородных металлов (Au, Pt), сложным вещественным составом, неравномерным распределением ценных компонентов, флотоактивной талькосодержащей и силикатной породой, углеродистой породной составляющей.

Одно из радикальных инновационных решений — создание эффективных реагентов для флотации тонких классов благородных и редких металлов. Особое внимание уделяется технологическим исследованиям труднообогатимого минерального сырья [1 – 15].

Анализ патентной и научно-технической информации по современным базам данных (ФИПС), библиотечным фондам ВПТБ показал, что выполняемые в ИПКОН РАН исследования по развитию теории взаимодействия селективных реагентов с минералами благородных металлов, поиску новых видов реагентов на основе формирования устойчивых комплексов с благородными и редкими металлами и созданию на их основе реагентных режимов флотационного извлечения Au, Pt и РМ минералов отвечают современным тенденциям в создании новых технологий переработки труднообогатимого минерального сырья.

Помимо повышения извлечения золота и снижения потерь ценного металла с хвостами обогащения, актуальной является задача повышения качества концентратов, что может быть получено путем снижения флотационной активности железосодержащих минералов без золота. Разработка селективных реагентов достигается включением в состав их молекул функциональных групп атомов, способных к избирательной адсорбции на поверхности минералов за счет образования труднорастворимых соединений с золотом, платиной и другими благородными металлами. Создание благоприятных условий для формирования прочного гидрофобного покрытия на поверхности минеральных комплексов обеспечивается подготовкой растворов реагентов, составом ионно-молекулярных компонентов флотационной пульпы и модифицированием поверхности минералов в процессе флотации.

Исследованиями, выполненными в ИПКОН РАН, научно обоснованы и апробированы новые селективные реагенты-собиратели класса дитиокарбаматов (модифицированный диэтилдитиокарбамат ДЭДТКм, дибутилдитиокарбамат ДБДТК и оксипропиловый эфир дитиокарбаминовой кислоты ОПДТК) [16 – 19]. Установлено, что эти реагенты обладают комплексообразующими свойствами по отношению к Au и обеспечивают прирост его извлечения во флотационные концентраты. Кроме того, разработан способ селекции Au-содержащих арсенопирита и пирита за счет использования сочетания ОПДТК и растительного экстракта ЭКД.

Цель настоящей работы — исследование механизма взаимодействия реагентов класса дитиокарбаматов — морфолиндитиокарбамата МДТК и цианэтилированного эфира диэтилдитиокарбаминовой кислоты ЦЭДЭТК с низкоразмерным Au на поверхности золотосодержащих сульфидов меди и мышьяка в условиях флотации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на образцах халькопирита и арсенопирита золоторудных месторождений, элементный состав природных минералов представлен в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Элементный состав образцов халькопирита и арсенопирита, %

Минерал	Содержание элементов, %							
	Au, г/т	Cu	Fe	Pb	Zn	Mo	As	S
Халькопирит	0.06	21.23	30.24	0.01	н/о	0.001	0.003	35.50
Арсенопирит	15.00	0.02	31.65	0.01	н/о	н/о	42.080	19.66

Образцы сульфидных минералов с низкоразмерным золотом получены с применением восстановительной адсорбции золота из раствора на поверхности аншлифов (10 × 10 мм) и фракциях природных халькопирита и арсенопирита, измельченных до крупности – 0.1 + 0.063 мм, по

методике ИПКОН РАН [19]. В качестве источника растворенного Au использован раствор $\text{H[AuCl}_4\text{]}$, концентрацию которого контролировали УФ-спектрофотометрическим методом (Shimadzu 1800).

Реагенты МДТК и ЦЭДЭТК предоставлены химической компанией АО “Волжский Оргсинтез”. Для исследования приготовлены 0.1 % растворы реагентов, МДТК хорошо растворим в воде, ЦЭДЭТК плохо растворим в воде, поэтому его раствор готовили с помощью ультразвукового диспергатора МЭФ93.Т (ООО “МЭЛФИЗ-ультразвук”, Москва).

Формирование адсорбционного слоя флотационных реагентов на поверхности природных сульфидов и модельных минералов с микро- и наноразмерным золотом изучено с применением комплекса аналитических методов — сканирующей электронной (LEO 1420VP, Carl Zeiss) и лазерной микроскопии (KEYENCE VK-9700), рентгенофлуоресцентной спектроскопии (ARL ADVANT'X), ICP-MS (Agilent 725 ICP-OES, Agilent Technologies), УФ-спектрометрии (Shimadzu 1800) и потенциометрии. С использованием оригинальной методики количественной оценки реагентного покрытия по анализу изображений (SLM) [17] рассчитана площадь поверхности минерала, занимаемая реагентом.

Рудную флотацию проводили на пробе комплексной золотосодержащей руды Олимпиадинского месторождения с содержанием 2.5 г/т Au, 0.12 % As, 0.02 % Cu, 2.28 % Fe, 0.08 % Pb, 0.02 % Sb, 1.18 % S, 12.1 % Ca, 3.42 % Mg, 0.17 % Mn. Пробу руды измельчали в лабораторной шаровой мельнице до крупности 80 % – 0.063 мм. Измельченный продукт флотировали 5 мин в механической флотационной машине ФМЛ-1 (237 ФЛ) “МЕХАНОБР” с объемом камеры 0.75 л. Реагентный режим рудной флотации: собиратели — бутиловый ксантогенат калия (БутКс), морфолиндитиокарбамат натрия (МДТК), S-(2-цианэтил)-N,N-диэтилдитиокарбамат (ЦЭДЭТК), вспениватель — метилизобутилкарбинол (МИБК). Расход собирателей — переменный, вспенивателя — 50 г/т. Время агитации собирателями 2 мин, вспенивателем — 1 мин.

Флотационные тесты выполнены по схеме основной флотации с получением концентрата и хвостов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее спектрофотометрическим методом была показана способность морфолиндитиокарбамата к образованию комплексного соединения с Cu в условиях, близких к флотационным [20]. Методом УФ-спектроскопии установлено, что адсорбция МДТК на халькопирите происходит в результате формирования морфолиндитиокарбамата меди на поверхности минерала.

Изучение состояния поверхности аншлифов сульфидных минералов до и после взаимодействия с растворами реагентов проводилось на аналитическом сканирующем электронном микроскопе LEO 1420VP и на лазерном сканирующем микроскопе KEYENCE VK-9700.

На арсенопирите с низкоразмерным золотом (светлая поверхность, рис. 1а) наглядно прослеживается формирование областей закрепления реагента в виде характерных сероватых тонких пленок адсорбированных фаз реагента МДТК и четко очерченных темных многоугольников, иногда с несколько размытыми краями. В энергодисперсионном спектре (рис. 1б) участка арсенопирита с золотом присутствуют пики Fe, As, S и Au, входящих в структуру минерала, а также углерода C, S и кислорода O, отвечающих структуре молекулы реагента МДТК. На цветном снимке лазерного микроскопа, отражающем истинные цвета поверхности минерала, также фиксируется появление светло-коричневых отпечатков реагента на дискретном золотом покрытии минерала с нанесенным золотом (рис. 1в).

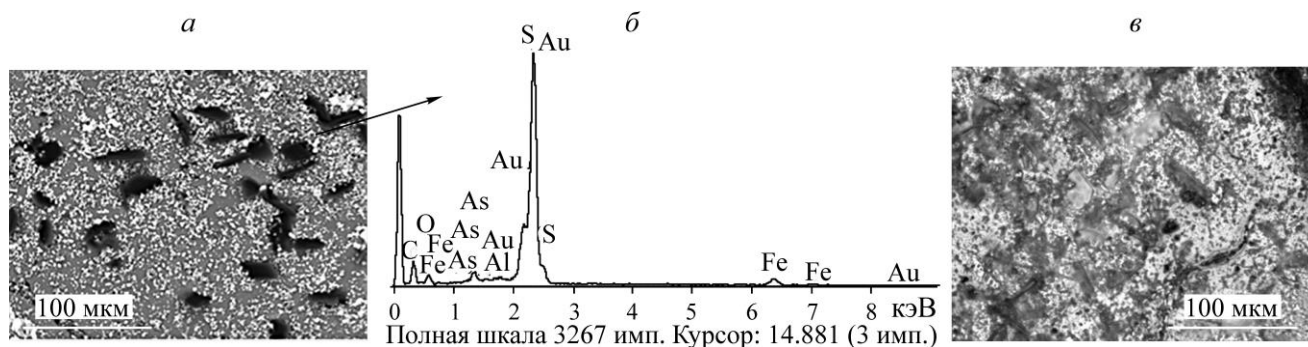


Рис. 1. Микрофотография электронного микроскопа (а), энергодисперсионный спектр (б) и снимок лазерного микроскопа (в) участка поверхности аншлифа арсенопирита с Au после контакта с реагентом МДТК

Анализ полученных изображений поверхности минерала показал формирование тонкого дискретного слоя реагента МДТК с преимущественным закреплением реагента на микронном (вплоть до наноразмерного) золоте. Количество адсорбированного реагента МДТК на измельченных фракциях арсенопирита и халькопирита флотационной крупности ($-0.1 + 0.063$ мм) с низкоразмерным Au определено методом УФ-спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu-1800.

На рис. 2 представлено изображение частицы халькопирита размером 0.1 мм (рис. 2а) и увеличенный участок (рис. 2б) поверхности данной частицы с низкоразмерным золотом (яркие светлые точки размером 1–5 нм), образованном в результате восстановительной адсорбции из раствора $H[AuCl_4]$, что подтверждается наличием в рентгеновском спектре пиков Au (рис. 2в).

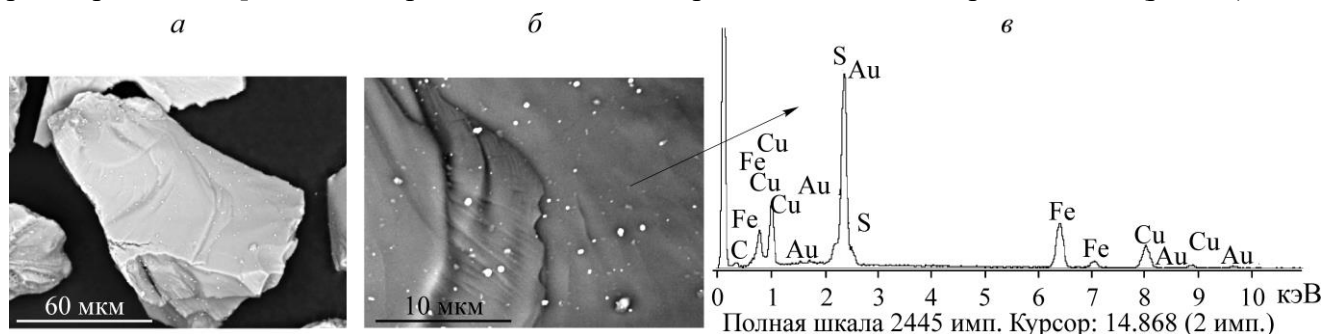


Рис. 2. ASEM-снимки (а, б) и рентгеновский спектр (в) поверхности зерна халькопирита (0.1 мм) с нанесенным Au

Характеристический максимум светопоглощения раствора МДТК в ультрафиолетовой области спектра при $\lambda = 285$ нм позволяет количественно оценить изменение концентрации реагента в растворе в соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера и адсорбцию реагента на минерале по разнице исходной и остаточной концентрации МДТК в жидкой фазе суспензии. На рис. 3 приведены УФ-спектр исходного раствора 10 мг/л МДТК (спектр 1), а также УФ-спектры жидкой фазы мономинеральной суспензии после взаимодействия с Au-содержащими арсенопиритом (спектр 2) и халькопиритом (спектр 3) и природным халькопиритом (спектр 4). После 5 мин контакта перечисленных минералов с исходным раствором МДТК происходит резкое снижение оптической плотности с 0.540 до 0.027, что свидетельствует о понижении концентрации МДТК в жидкой фазе суспензии до 0.5 мг/л, т. е. реагент почти полностью (на 95 %) адсорбировался на поверхности минералов.

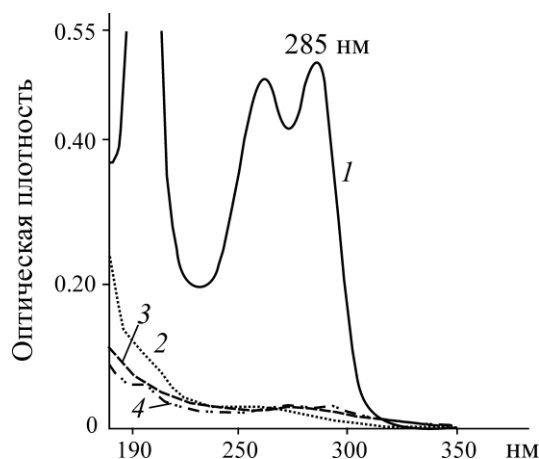


Рис. 3. УФ-спектры исходного раствора МДТК (1) и после взаимодействия с Au-содержащими арсенопиритом (2); халькопиритом (3) и природным халькопиритом (4)

Выполнен расчет количества адсорбированного реагента:

$$A = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{ост}})V_{\text{ж.ф.}}}{m},$$

где A — адсорбция реагента, мг/г; $C_{\text{исх}}$, $C_{\text{ост}}$ — исходная и остаточная концентрация реагента соответственно, мг/л; $V_{\text{ж.ф.}}$ — объем жидкой фазы, мл; m — масса навески минерала, мг.

Расчет показал, что адсорбция МДТК на арсенопирите с низкоразмерным золотом и халькопирите составила 0.38 мг/г. Повышение исходной концентрации реагента МДТК до 20 мг/л приводит к увеличению адсорбции до 0.74 мг/г.

Сканирующим лазерным микроскопом KEYENCE VK-9700 проведено бесконтактное измерение неровности поверхности минералов и определена высота и размер новообразований, появившихся после обработки реагентами. Установлено, что взаимодействие аншлифов минералов с реагентом ЦЭДЭТК приводит к образованию на поверхности природного арсенопирита дискретных фаз в виде мелких капель высотой 0.5–3.0 мкм и диаметром 1–30 мкм (максимально 50 мкм) — рис. 4 и 5а, а на поверхности природного халькопирита более крупных капель реагента высотой 2.5–6.5 мкм, диаметром до 20–40 мкм (максимально 70 мкм) — рис. 5б. Количество адсорбированного ЦЭДЭТК на халькопирите с низкоразмерным золотом возрастает по сравнению с природным образцом и наблюдаются как отдельные мелкие каплевидные новообразования, так и более крупные островковые пленки (рис. 5в).

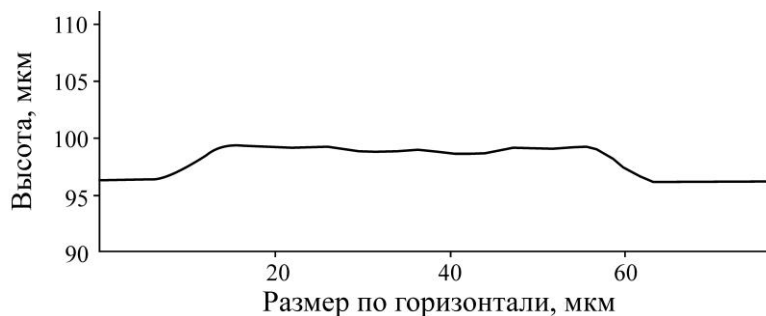
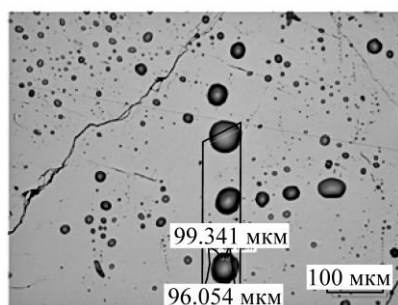


Рис. 4. Определение размеров новообразований реагента на поверхности аншлифа арсенопирита

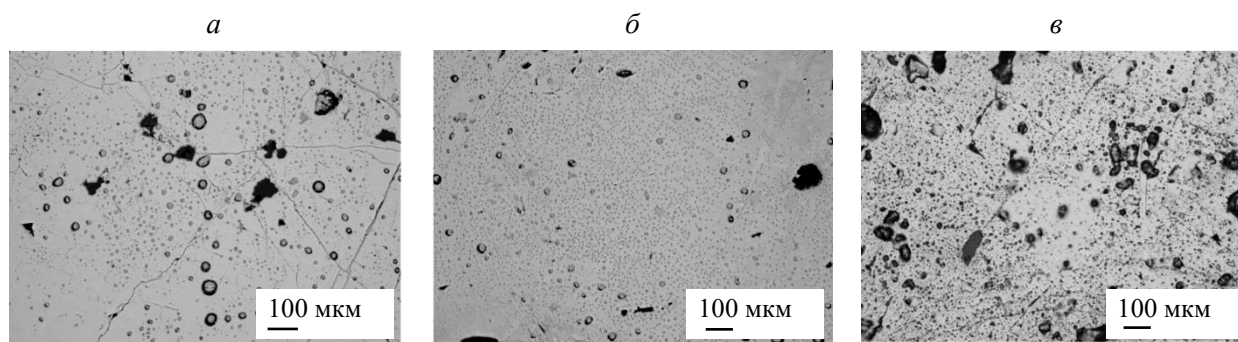


Рис. 5. SLM-снимки поверхности аншлифов арсенопирита (а), халькопирита (б) и халькопирита с Au (в), покрытой реагентом ЦЭДЭТК

Количественная оценка адсорбционного слоя ЦЭДЭТК на поверхности минералов выполнена по авторской методике [17] на основе анализа площади покрытия реагентом. Замер площади поверхности аншлифа минерала, покрытой фазой реагента, проводили с помощью цветного снимка, полученного на сканирующем лазерном микроскопе KEYENCE VK-9700 (SLM). Возможности программы VK-Analyzer позволяют цветом выделить слой адсорбировавшегося реагента и замерить его площадь. Таким способом определяли площадь общей поверхности участка минерала и площадь поверхности, покрытой реагентом.

Степень покрытия поверхности минерала реагентом рассчитывали следующим образом:

$$g = \frac{S_{\text{реаг}} \cdot 100}{S_{\text{мин}}},$$

где g — степень покрытия поверхности минерала реагентом, %; $S_{\text{реаг}}$ — площадь поверхности минерала, покрытой реагентом, мкм^2 ; $S_{\text{мин}}$ — площадь поверхности минерала, мкм^2 .

Адсорбция реагента по разработанной методике оценивается по степени покрытия поверхности минерала реагентом. Площадь новообразований реагента на аншлифах арсенопирита, халькопирита и халькопирита с Au после контакта с раствором реагента ЦЭДЭТК, определена при десятикратном увеличении изображения (рис. 5).

Результаты количественной оценки адсорбционного слоя ЦЭДЭТК по степени покрытия поверхности минералов реагентом представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Количественная оценка адсорбционного слоя ЦЭДЭТК на поверхности минералов

Минерал	Площадь поверхности, мкм^2		Степень покрытия реагентом, %
	участка минерала	покрытой реагентом	
Арсенопирит	3111297.257	257351.020	8.27
Халькопирит	3690867.585	451453.582	12.23
Халькопирит с Au	6512653.806	1353182.359	20.78

Проведенные замеры показали, что площадь покрытия реагентом ЦЭДЭТК поверхности минералов различна: для арсенопирита она составила 8 %, для халькопирита — 12 %, халькопирита с Au — 21 %.

Таким образом, адсорбция реагента на халькопирите выше, чем на арсенопирите. Максимальная степень покрытия наблюдается в случае золотосодержащего минерала, на арсенопирите без золота степень покрытия минимальная.

Изменение электрохимического состояния поверхности халькопирита под действием реагентов оценивалось по величине электродного потенциала в зависимости от концентрации МДТК и ЦЭДЭТК в растворе (рис. 6).

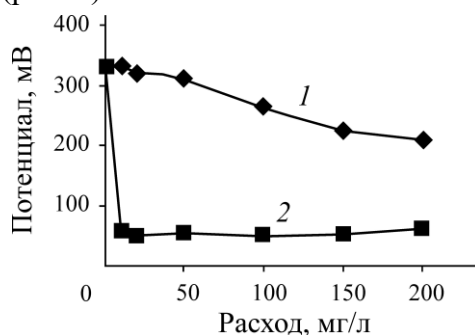


Рис. 6. Изменение электродного потенциала халькопирита в растворах реагентов: 1 — ЦЭДЭТК; 2 — МДТК

Резкое снижение более чем на 260 мВ электродного потенциала в растворе МДТК при концентрации реагента 10 мг/л свидетельствует об активной химической адсорбции данного реагента на халькопирите с образованием прочного комплексного соединения МДТК-Сu. Наименее активное снижение электродного потенциала отмечено в растворе ЦЭДЭТК (максимально на 120 мВ), при этом потенциал остается высоко положительным (+200 ÷ +250 мВ) вплоть до концентрации 200 мг/л. Такой характер изменения электродного потенциала обусловлен более слабым взаимодействием реагента с минералом и преобладанием физической формы закрепления при формировании адсорбционного слоя на минерале.

В результате проведенных исследований с применением комплекса методов выявлено, что разница в площади покрытия реагентом поверхности изученных минералов коррелирует с величиной адсорбции, определенной УФ-спектроскопией, изменением электродного потенциала и обуславливает селективное действие реагента на флотируемость халькопирита и арсенопирита.

Ранее было установлено [20], что в условиях мономинеральной флотации арсенопирита и халькопирита с нанесенным золотом реагентами МДТК и ЦЭДЭТК при индивидуальной подаче и в сочетании с бутиловым ксантогенатом при соотношении расходов 1 : 1 оба реагента гидрофобизируют поверхность и повышают флотируемость золотоносных сульфидов.

Результаты тестирования реагентов ЦЭДЭТК и МДТК в условиях рудной флотации на пробе золотосодержащей руды Олимпиадинского месторождения показали, что индивидуальная подача данных реагентов в качестве собирателей при расходе 50 г/т позволяет получить концентраты с содержанием 11.1 – 12.1 г/т Au, сопоставимые по качеству с концентратом базового эксперимента с использованием бутилового ксантогената 50 г/т БутКс. В то же время за счет меньшего выхода концентрата извлечение снижается на 7 – 10 % (табл. 3).

В случае использования комбинации собирателей (ЦЭДЭТК — 25 г/т, БутКс — 25 г/т) и (МДТК — 25 г/т, БутКс — 25 г/т) при снижении выхода с 16.72 до 12.21 – 12.33 % получены концентраты более высокого качества по содержанию золота: 16.7 – 18 г/т Au против 11.6 г/т Au в базовом эксперименте с одним ксантогенатом. Прирост извлечения золота в концентраты составил 6 – 7 %. Следует отметить, что повышение технологических показателей флотации достигнуто без повышения общего расхода реагентов 50 г/т в базовом эксперименте.

ТАБЛИЦА 3. Результаты флотации пробы золотосодержащей руды Олимпиадинского месторождения дитиокарбатами ЦЭДЭТК и МДТК

Реагент	Продукт	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
БутКс — 50 г/т МИБК — 50 г/т	Концентрат	16.72	11.64	80.95
	Хвосты	83.28	0.55	19.05
	Руда	100.00	2.40	100.00
МДТК — 50 г/т МИБК — 50 г/т	Концентрат	14.29	12.11	73.45
	Хвосты	85.71	0.73	26.55
	Руда	100.00	2.36	100.00
ЦЭДЭТК — 50 г/т МИБК — 50 г/т	Концентрат	13.36	11.10	70.42
	Хвосты	86.64	0.95	29.58
	Руда	100.00	2.11	100.00
МДТК — 25 г/т БутКс — 25 г/т МИБК — 50 г/т	Концентрат	12.33	17.99	87.85
	Хвосты	87.67	0.35	13.15
	Руда	100.00	2.11	100.00
ЦЭДЭТК — 25 г/т БутКс — 25 г/т МИБК — 50 г/т	Концентрат	12.21	16.66	87.19
	Хвосты	87.79	0.34	12.81
	Руда	100.00	2.52	100.00

На рис. 7 приведена диаграмма прироста извлечения золота в концентрат флотации пробы руды Олимпиадинского месторождения при индивидуальной подаче новых собирателей и их комбинации с бутиловым ксантогенатом.

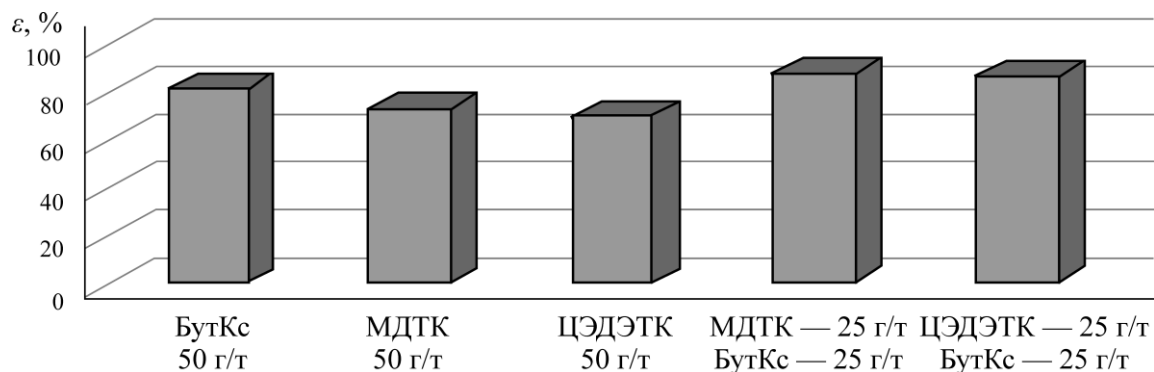


Рис. 7. Извлечение золота в концентрат флотации пробы руды Олимпиадинского месторождения при использовании комбинации реагентов-собирателей

ВЫВОДЫ

Экспериментально подтвержден механизм взаимодействия новых комплексообразующих реагентов класса дитиокарбаматов МДТК и ЦЭДЭТК с низкоразмерным золотом на поверхности золотосодержащих сульфидов. МДТК и ЦЭДЭТК способны обеспечить селективную гидрофобизацию золотосодержащих минералов и эффективное извлечение микро- и наноразмерного золота из труднообогатимых руд.

Количественная оценка площади покрытия поверхности минералов реагентом ЦЭДЭТК с применением авторской методики показала, что степень покрытия поверхности арсенопирита составляет 8 %, халькопирита — 12 %, халькопирита с золотом — 21 %.

Изменение электродного потенциала в зависимости от концентрации МДТК и ЦЭДЭТК в растворе свидетельствует об активной химической адсорбции МДТК на халькопирите с образованием прочного комплексного соединения МДТК-Си. Характер изменения электродного потенциала арсенопирита обусловлен преобладанием физической формы закрепления при формировании адсорбционного слоя на минерале.

МДТК и ЦЭДЭТК повышают флотуруемость золотоносных сульфидов, что оказывает положительный эффект при флотационном извлечении золота. Результаты тестирования реагентов ЦЭДЭТК и МДТК в условиях флотации Au-содержащей пробы руды Олимпиадинского месторождения показали, что их применение в сочетании с бутиловым ксантогенатом в соотношении 1 : 1 обеспечивает снижение выхода золотосодержащих концентратов, повышение их качества по содержанию золота и прирост извлечения золота на 6–7 % без повышения общего расхода собирателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александрова Т. Н., Орлова А. В., Таранов В. А.** Повышение эффективности переработки комплексных медных руд варьированием реагентного режима // ФТПРПИ. — 2020. — № 6. — С. 116–124.
2. **Брагин В. И., Бурдакова Е. А., Кондратьева А. А., Плотникова А. А., Бакшеева И. И.** Исследование на обогатимость флотационным методом лежалых золотосодержащих хвостов // ФТПРПИ. — 2018. — № 4. — С. 152–160.
3. **Chanturiya V. A. and Kondratiev S. A.** Contemporary understanding and developments in the flotation theory of non-ferrous ores, *Miner. Process. and Extr. Metall. Rev.*, 2019, Vol. 40, No. 6. — P. 390–401.
4. **Кондратьев С. А., Гаврилова Т. Г.** Механизм работы физической формы сорбции на примере активации сульфидных минералов ионами тяжелых металлов // ФТПРПИ. — 2018. — № 3. — С. 121–136.
5. **Рябой В. И., Шепета Е. Д.** Влияние поверхностной активности и гидрофобизирующих свойств диалкилдитиофосфатов на флотацию медных мышьяксодержащих руд // Обогащение руд. — 2016. — № 4. — С. 29–34.
6. **Игнаткина В. А., Бочаров В. А.** Схемы флотации сульфидов цветных металлов на основе использования сочетания собирателей // Горн. журн. — 2010. — № 12. — С. 58–64.
7. **Соложенкин П. М.** Развитие принципов выбора реагентов для флотации минералов сурьмы и висмута // Докл. АН РАН. — 2016. — Т. 466. — № 5. — С. 599–562.
8. **Рябой В. И.** Производство и использование флотационных реагентов в России // Горн. журн. — 2011. — № 2. — С. 49–53.
9. **Miki H., Hirajima T., Muta Y., Suyantara G. P. W., and Sasaki K.** Investigation of reagents for selective flotation on chalcopyrite and molybdenite, *Proc. of XXIX Int. Min. Proc. Congr., IMPC 2018*, 2019. — P. 1854–1861.
10. **Kaihua Huang, Xiaoping Huang, Yun Jia, Shuai Wang, Zhanfang Cao, and Hong Zhong.** A novel surfactant styryl phosphonate mono-iso-octyl ester with improved adsorption capacity and hydrophobicity for cassiterite flotation, *J. Miner. Eng.*, 2019, Vol. 142. — 105895.
11. **Tijsseling L. T., Dehaine Q., Rollinson G. K., and Glass H. J.** Flotation of mixed oxide sulphide copper-cobalt minerals using xanthate, dithiophosphate, thiocarbamate and blended collectors, *J. Miner. Eng.*, 2019, Vol. 138. — P. 246–256.
12. **Lin Q., Gu G., and Wang H.** Recovery of molybdenum and copper from porphyry ore via isoflotability flotation, *Transactions Nonferrous Metals Society of China*, 2017, 27.I-10. — P. 2260–2271.
13. **Ramesh Bala P., Venkatesh P., and Abdul Jabbar A.** Influence of dithiocarbamate on metal complex and thin film depositions, *Int. J. Innovative Res. in Sci., Eng. and Technol.*, 2014, Vol. 3, No. 8. — P. 15301–15309.

14. **Ly N., Nguyen T., Zoh K.-D., and Joo S.-W.** Interaction between diethyldithiocarbamate and Cu(II) on gold in non-cyanide wastewater, *Sensors*, 2017, Vol. 17, No. 11. — P. 1–12.
15. **Хуссейн Х. Х., Хентов В. Я.** Извлечение металлов из техногенных отходов на основе прямого синтеза комплексных соединений // *Науч. вестн. МГТУ. Горные науки и технологии*. — 2014. — № 2 (2). — С. 109–122.
16. **Матвеева Т. Н., Иванова Т. А., Гетман В. В., Громова Н. К.** Новые флотационные реагенты для извлечения микро- и наночастиц благородных металлов из упорных руд // *Горн. журн.* — 2017. — № 11. — С. 89–93.
17. **Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Минаев В. А.** Количественная оценка адсорбционного слоя комбинированного диэтилдитиокарбамата на халькопирите и арсенопирите методом измерения параметров рельефа поверхности // *Цв. металлы*. — 2018. — № 7. — С. 27–32.
18. **Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Ланцова Л. Б.** Разработка метода селективной флотации сульфидов сурьмы и мышьяка при обогащении комплексных золотосодержащих руд // *Цв. металлы*. — 2019. — № 4. — С. 6–12.
19. **Иванова Т. А., Чантурия В. А., Зимбовский И. Г.** Новые способы экспериментальной оценки селективности реагентов-собирателей для флотации золота и платины из тонковкрапленных руд благородных металлов // *Обогащение руд*. — 2013. — № 5. — С. 127–137.
20. **Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Ланцова Л. Б.** Экспериментальное обоснование собирателей класса циклических и алифатических дитиокарбаматов для извлечения золотоносных сульфидов из комплексных руд // *ФТПРПИ*. — 2021. — № 1. — С. 137–145.

Поступила в редакцию 14/VI 2022

После доработки 21/VI 2022

Принята к публикации 30/VI 2022