

Код МРНТИ 52.45.19

Л. Б. Сабирова<sup>1</sup>, А. Р. Мамбеталиева<sup>1</sup>, \*С. Қалиаскар<sup>1,2</sup>, Т. Ш. Тусупбекова<sup>2</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),<sup>2</sup>ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЛЕКТИВНОГО РЕАГЕНТА НА ОКИСЛЕННУЮ ЧАСТЬ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ

**Аннотация.** На фоне истощения богатых природных рудных источников и ужесточения экологических требований переработка техногенных отходов, в том числе лежалых хвостов, приобретает все большую значимость. Разработка эффективных методов селективного извлечения меди из окисленных минеральных форм представляет собой важную задачу, поскольку традиционные флотационные схемы обладают низкой эффективностью при переработке окисленных руд. В статье приведены результаты испытаний по применению селективного реагента в сочетании с ксантогенатом (слабым и сильным собирателем) для обогащения окисленной части медных хвостов. Исследования проведены на окисленной части лежалых хвостов с содержанием меди 0,142% со степенью окисленности 65,49%. В ходе экспериментов была определена оптимальная доза реагента и условия флотации, обеспечивающие повышение извлечения меди до 38,56%.

**Ключевые слова:** обогащение полезных ископаемых, флотация, техногенное сырье, лежалые хвосты, окисленные минералы, селективный реагент.

### Қалдықтардың тотыққан бөлігі үшін селективті реагенттің әсерін зерттеу

**Аннотация.** Бай табиғи кен көздерінің сарқылуы және экологиялық талаптардың күшеюі жағдайында техногендік қалдықтарды, оның ішінде ұзақ уақыт жатып қалған қалдықтарды, қайта өңдеу қазіргі таңда өзекті мәселенің бірі. Тотыққан минералды формалардан мысты бөліп алудың тиімді әдістерін әзірлеу маңызды, себебі дәстүрлі флотациялық тәсілдер тотыққан кендерді өңдеуде тиімсіз. Мақалада мыс қалдықтарының тотыққан бөлігіне селективті реагент пен ксантогенаттықолдану бойынша зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеулер мыс мөлшері 0,142%, тотығу дәрежесі 65,49% болатын қалдықтардың сынамасында жүргізілді. Эксперименттер барысында реагенттің оптималды дозасы және флотацияның тиімді шарттары анықталды. Анықталған параметрлер негізінде мысты бөліп алу көрсеткіші 38,56%-ға дейін жоғарылады.

**Түйінді сөздер:** пайдалы қазбаларды байыту, флотация, техногендік шикізат, қалдықтар, тотыққан минералдар, селективті реагент.

### Study of the oxidized portion of aged tailings using a selective reagent

**Abstract.** Against the background of the depletion of high-grade natural ore resources and the tightening of environmental regulations, the processing of technogenic waste, including long-term accumulated tailings, is gaining increasing importance. Developing efficient methods for the selective recovery of copper from oxidized mineral forms remains a critical challenge, as conventional flotation schemes show low efficiency when treating oxidized ores. This paper presents the results of a study on the effect of combining a selective reagent with a xanthate (weak and strong collectors) on the oxidized fraction of copper-bearing tailings. The research was conducted on the oxidized portion of tailings containing 0.142% copper with an oxidation degree of 65.49%. During the experiments, the optimal reagent dosage and flotation conditions were determined, which enabled an increase in copper recovery up to 38.56%.

**Key words:** mineral processing, flotation, technogenic raw materials, stored tailings, oxidized minerals, selective reagent.

### Введение

Современное развитие горно-металлургической промышленности сопровождается необходимостью перехода к устойчивым технологиям переработки минерального и техногенного сырья. В условиях исчерпания высококачественных природных рудных запасов и усиления требований к охране окружающей среды особую актуальность приобретает вторичное использование минеральных ресурсов – в первую очередь лежалых хвостов и других отходов обогащения [1, 2]. Эти техногенные образования содержат значительные количества цветных металлов, в том числе меди, цинка и серебра, ранее не вовлекаемых в переработку по экономическим или технологическим причинам.

По данным современных исследований [3–6], переработка лежалых хвостов позволяет не только компенсировать снижение качества первичных руд, но и решать задачи экологической рекультивации хвостохранилищ. В странах Центральной Азии, включая Казахстан, накоплено более 2 млрд тонн отходов обогащения, из которых лишь малая часть вовлечена в повторную переработку. В этих отходах часто сосредоточены остаточные количества меди (0,1 – 0,3%), что делает их перспективным сырьем для доизвлечения.

Одним из ключевых факторов успешной переработки лежалых хвостов является правильный выбор реагентного режима флотации. Традиционные коллекторы, такие как ксантогенаты, обладают низкой селективностью при флотации окисленных минералов меди (малахит, азурит, хризоколла), поскольку их активность ограничена поверхностными реакциями сульфидирования [7–10]. Вследствие

этого в последние годы активно ведутся исследования по разработке новых селективных реагентов – модифицированных дитиофосфатов, тиокарбаматов, а также фосфорорганических соединений, обеспечивающих устойчивую сорбцию на окисленных поверхностях.

Международные работы [7, 8] демонстрируют, что применение фосфорорганических реагентов, таких как бутиловый дитиофосфат натрия, способствует повышению флотационной активности минералов меди в щелочной среде, что особенно важно для переработки окисленных хвостов и вторичного сырья. Эти реагенты формируют устойчивые комплексы с поверхностными катионами  $\text{Cu}^{2+}$ , улучшая гидрофобизацию частиц их прилипание к пузырькам воздуха.

В Казахстане исследования в данном направлении также активно развиваются. В частности, работа [10] показала эффективность применения комбинированных коллекторов при флотации техногенных хвостов, содержащих окисленные формы меди и барита.

Таким образом, анализ отечественных и зарубежных источников позволяет выделить несколько ключевых тенденций в развитии флотационных технологий: увеличение роли селективных фосфорорганических реагентов при переработке труднообогатимых окисленных руд; комплексное использование дитиофосфатов и ксантогенатов как способ повышения селективности и извлечения меди.

Таким образом, исследования, направленные на переработку техногенных хвостов как стратегического источника цветных металлов и способ снижения экологической нагрузки, приобретают особую значимость.

В связи с этим цель настоящего исследования заключается в изучении эффективности применения бутилового дитиофосфата натрия в сочетании с ксантогенатом для флотации окисленных хвостов, накопленных на предприятиях Казахстана. Работа направлена на разработку рационального реагентного режима, обеспечивающего повышение извлечения меди и уменьшение потерь в хвостах, что соответствует современным принципам устойчивого развития и ресурсосбережения.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлась проба окисленной части медных лежалых хвостов. Элементный состав определен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Минералогический состав изучен в отраженном свете на полированных аншлифах с использованием микроскопа OLYMPUS BX-53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения Mineral C7 компании SIAMS. В таблице 1 приведены результаты химического анализа исходной пробы.

Таблица 1

Химический состав исходной руды

Кесте 1

Бастапқы кеннің химиялық құрамы

Table 1

Chemical composition of the original ore

| Компонент           | Cu   | Ag,<br>г/т | Fe   | S    | Zn   | Pb   | Al   | Si    |
|---------------------|------|------------|------|------|------|------|------|-------|
| Массовая<br>доля, % | 0,14 | 1,56       | 2,09 | 0,19 | 0,13 | 0,06 | 5,30 | 28,23 |

По результатам химического фазового анализа установлено, что медь присутствует преимущественно в окисленной форме – 65% от общего содержания. На долю сульфидных минералов приходится 35%. К сульфидным формам относятся халькопирит, ковеллин и борнит, характерные для глубинных и слабоокисленных зон месторождений. Окисленные формы представлены малахитом, азуридом и хризокolloй, формирующимися в зоне окисления под воздействием кислорода и влаги (рис. 1).

Преобладание окисленных минералов меди указывает на развитие зоны вторичного обогащения и определяется необходимостью применения селективных реагентов при флотации.

Флотационные исследования проводились на лабораторных пневмомеханических флотационных машинах типа Вэктис (объем камеры – 3 л) и механических флотационных машинах типа Механобр (объем 0,5–1,0 л). Продолжительность флотации составляла 10 минут, массовая доля твердого в пульпе – 30%, содержание класса -0,071 мм – 80%, механоактивации пульпы – 10 минут. Основная флотация проводилась при pH = 9,0 и окислительно-восстановительном потенциале (ОВП) от -180 до -220 мВ. Контрольная флотация выполнялась при тех же условиях: pH = 9,0 и ОВП = -180 ÷ -220 мВ. Перечень использованных реагентов, их функциональное назначение и нормы расхода приведены в таблице 2.

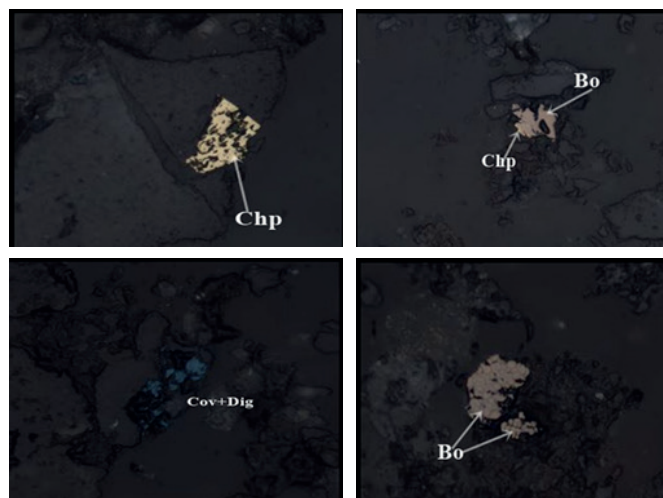


Рис. 1. Выделения медных минералов. Увел. 100.

Chp – халькопирит, Bo – борнит, Cov – ковеллин, Dig – дигенит.

Сурет 1. Мыс минералдарының бөлінуі. 100 ұлғайту.

hp – халькопирит, Bo – борнит, Cov – ковеллин, Dig – дигенит.

Figure 1. Isolation of copper minerals. Magnification of 100.

Chp – chalcopyrite, Bo – bornite, Cov – covellite, Dig – digenite.

В ходе экспериментов контролировались параметры pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) с использованием электродов HANNA HI 1230 и HI 3131. Эти параметры подбирались таким образом, чтобы обеспечить стабильную щелочную среду и оптимальные условия активации окисленных минералов меди при взаимодействии с реагентами-собирающими.

Соотношение селективного собирателя к бутилксантогенат калия составляло 1:4, что обеспечивало оптимальное сочетание избирательности и активности при флотации окисленных хвостов.

### Результаты и обсуждение

С целью повышения извлечения меди в концентрат проведены лабораторные исследования по подбору оптимального селективного реагента при флотации окисленных хвостов. Принципиальная технологическая схема проведения лабораторного эксперимента приведена на рис. 2.

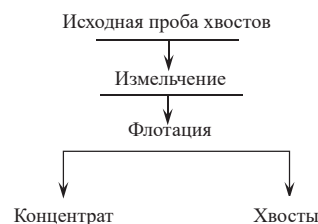


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема проведения лабораторного эксперимента.

Сурет 2. Зертханалық эксперименттің принципті технологиялық сызбасы.

Figure 2. The basic technological scheme of the laboratory experiment.

Таблица 2

Характеристика, назначение и расход примененных флотационных реагентов

Кесте 2

Қолданылған флотациялық реагенттердің сипаттамасы, мақсаты және мөлшері

Table 2

Characteristics, purpose, and consumption of the flotation reagents used

| Реагент                            | Химическая формула / тип                                                  | Назначение в процессе флотации                                                                                 | Расход, г/т                     |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Бутилксантогенат калия (БКК)       | $ROCS_2K$                                                                 | Основной коллектор для сульфидных минералов меди                                                               | 32 (осн. фл.) / 24 (контр. фл.) |
| Бутиловый дитиофосфат натрия (БДН) | $Na[S_2P(OC_4H_9)_2]$                                                     | Селективный серосодержащий собиратель для <i>Cu</i> и <i>Pb</i> ; повышает извлечение и селективность процесса | 8 (осн. фл.) / 6 (контр. фл.)   |
| Модифицированный тиофосфат (МТФ)   | $(RO)_2P(S)-SR'$ (смесь диалкилдитиофосфатов и тиоспиртов)                | Смесь дитиофосфатов и алифатических спиртов; повышает гидрофобизацию и устойчивость пены                       | 8 (осн. фл.) / 6 (контр. фл.)   |
| Бутилтиофосфат (БТФ)               | $(C_4H_9O)_2P(S)SH$                                                       | Комбинированный коллектор; улучшает извлечение меди из смешанных руд                                           | 8 (осн. фл.) / 6 (контр. фл.)   |
| Модифицированный ксантогенат (МКХ) | $C_4H_9OCS_2Na + Na[S_2P(OC_4H_9)_2]$ (смесь ксантогената и дитиофосфата) | Смесь ксантогената и дитиофосфата; универсальный собиратель для окисленных и сульфидных минералов              | 8 (осн. фл.) / 6 (контр. фл.)   |

Результаты проведенных лабораторных опытов приведены на рис. 3.

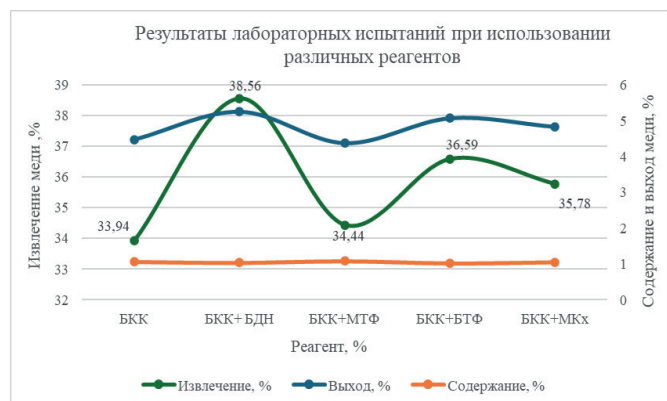


Рис. 3. Результаты тестов по подбору селективного реагента.

Сурет 3. Селективті реагентті таңдау бойынша сынақ нәтижелері.

Figure 3. Results of selective reagent selection tests.

Из результатов проведенных лабораторных экспериментов (рис. 3) установлено, что при применении сочетания реагентов БКК+БДН (соотношение селективного собирателя к бутилксантогенат калия составляло 1:4) извлечение меди в концентрат повышается на 4,62% относительно базового эксперимента (БКК-100%) достигая **38,56%**, что подтверждает эффективность фосфорорганического реагента при флотации окисленных минералов меди.

Для подтверждения полученных результатов и выбора наиболее эффективного реагента для извлечения полезных компонентов, выполнен расчет эффективности обогащения по методике Ханкок-Луйкена и коэффициент технологической эффективности (интегральный показатель). Результаты приведены на рис. 4.

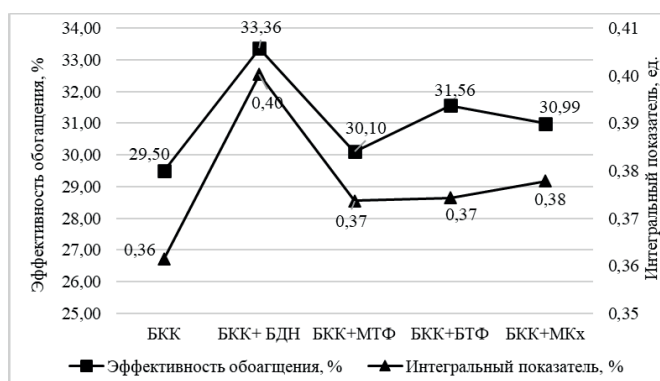


Рис. 4. Графики зависимости показателей обогащения от селективных реагентов.

Сурет 4. Селективті реагенттердің түріне байланысты байыту көрсеткіштерінің тәуелділік графиктері.

Figure 4. Graphs showing the dependence of beneficiation indicators on the type of selective reagents.

Расчеты по методике Ханкок-Луйкена и интегральному коэффициенту технологической эффективности показали, что данная комбинация реагентов обеспечивает максимальную суммарную эффективность процесса – 33,36% и 0,40 соответственно, при сохранении качества концентрата.

## Закключение

Таким образом, результаты демонстрируют, что введение селективного реагента дитиофосфата натрия бутилового в сочетании бутиловым ксантогенатом позволили повысить качественно-количественные показатели по меди. Использование данной комбинации реагентов позволяет повысить извлечение меди до 38,56% и снизить потери металла в хвостах.

Данная работа представляет собой начальный этап исследования, направленный на разработку комплексной технологии переработки лежалых хвостов. В дальнейшем планируется проведение дополнительных лабораторных

испытаний с применением ультратонкого измельчения, поскольку значительная часть потерь меди сосредоточена в тонких классах. Реализация этого подхода позволит повысить степень раскрытия минералов и достичь более полного извлечения ценных компонентов.

#### Благодарность

Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового проекта № AP26198169.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хвосты флотации золото–медных рудников (Бор, Сербия) как источник критических элементов / V. Trifunović [и др.] // Minerals. – 2024. – № 14 (9). – С. 1–17 (на английском языке)
2. Байбатша А., Бекботаева А., Кембаев М. [и др.] Минералогия и переработка накопленных хвостов обогатительных фабрик Казахстана в техногенные руды // 23-я Международная многопрофильная научная геоконференция. – 2023. – С. 1–8 (на английском языке)
3. Извлечение меди из лежалых хвостов обогащения / А. Р. Мамбеталиева [и др.] // Наука и техника Казахстана. – 2024. – № 3. – С. 213–223 (на русском языке)
4. Разработка технологии переработки тонко вкрапленных упорных лежалых хвостов обогащения медно-цинковых руд / О. А. Дрючкова [и др.] // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2020. – С. 22–27 (на русском языке)
5. Россамахина Н. С. Способы переработки поступающих и лежалых хвостов медно-цинковой обогатительной фабрики // Современные проблемы экологии и природопользования. – Пенза, 2023. – С. 93–97 (на русском языке)
6. Исследование по отделению малахита от кварца с помощью S-карбоксиметил-О, О'-дибутилдитиофосфатного хелатирующего собирателя и его понимание механизма флотации / X. Zhang [и др.] // Powder Technology. – 2020. – С. 374–406 (на английском языке)
7. Особенности флотации малахита с использованием гидрофобных наночастиц талька в качестве собирателей / J. Choi [и др.] // Minerals. – 2020. – № 10 (9). – С. 1–9 (на английском языке)
8. Эффективность флотации и механизм адсорбции нового собирателя минералов оксида меди / В. Ни [и др.] // Minerals. – 2022. – № 12 (4). – С. 1–14 (на английском языке)
9. Влияние ультратонкого измельчения на технологические показатели обогащения отвальных хвостов / А. Р. Мамбеталиева [и др.] // Вестник КазУТБ. – 2024. – С. 466–476 (на русском языке)
10. Коллективная флотация обескремненного техногенного баритового сырья / К. С. Туребекова [и др.] // Горный журнал Казахстана. – 2022. – № 12. – С. 46–50 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алтын-мыс кеніштері флотациясының қалдықтары (бор, Сербия) сыни элементтердің көзі ретінде / V. Trifunović [және т. б.] // Minerals. – 2024. – № 14 (9). – Б. 1–17 (ағылшын тілінде)
2. Байбатша Ә., Бекботаева А., Кембаев М. және т. б. Минералогия және Қазақстанның байыту фабрикаларының жинақталған қалдықтарын техногендік кендерге қайта өңдеу // 23-ші Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция. – 2023. – Б. 1–8 (ағылшын тілінде)
3. Байыту қалдықтарынан мысты бөліп алу / А. Р. Мамбеталиева [және т. б.] // Қазақстанның ғылымы мен техникасы. – 2024. – № 3. – Б. 213–223 (орыс тілінде)
4. Мыс-мырыш кендерін байытудың жіңішке қиылысқан қыңыр құйрықтарын өңдеу технологиясын әзірлеу / О. А. Дрючкова [және т. б.] // Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. – 2020. – Б. 22–27 (орыс тілінде)
5. Россамахина Н. С. Мыс-мырыш байыту фабрикасының кіретін және жиналған қалдықтарын өңдеу әдістері // Экология мен табиғатты пайдаланудың заманауи мәселелері. – Пенза, 2023. – Б. 93–97 (орыс тілінде)
6. Малахитті кварцтан бөлу туралы зерттеу S-карбоксиметил-О, О'-дибутилдитиофосфатты хелаттау жинағышы және оның флотация механизмін түсінуі / X. Zhang [және т. б.] // Powder Technology. – 2020. – Б. 374–406 (ағылшын тілінде)
7. Тальк гидрофобты нанобөлшектерін жемішөп ретінде қолдана отырып, малахит флотациясының ерекшеліктері / J. Choi [және т. б.] // Minerals. – 2020. – № 10 (9). – Б. 1–9 (ағылшын тілінде)
8. Флотацияның тиімділігі және мыс оксидінің жаңа минералды жинаушысының адсорбция механизмі / В. Ни [және т. б.] // Minerals. – 2022. – № 12 (4). – Б. 1–14 (ағылшын тілінде)
9. Ультра ұсақ ұнтақтаудың үйінді қалдықтарды байытудың технологиялық көрсеткіштеріне әсері / А. Р. Мамбеталиева [және т. б.] // ҚазУТБ хабаршысы. – 2024. – Б. 466–476 (орыс тілінде)
10. Кремнийсіз техногендік барит шикізатының ұжымдық флотациясы / К. С. Туребекова [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. – 2022. – № 12. – Б. 46–50 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. *Flotation Tailings from Cu-Au Mining (Bor, Serbia) as a Source of Critical Elements* / V. Trifunović et al. // *Minerals*. – 2024. – No. 14 (9). – P. 1–14 (in English)
2. *Baibatsha A., Bekbotaeva A., Kembraev M. et al. Mineralogy and processing of accumulated tailings from concentrating mills of Kazakhstan into technogenic ores* // *23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. – 2023. – P. 1–8 (in English)
3. *Izvyechenie medi iz lezhalykh khvostov obogashcheniya* [Extraction of copper from story enrichment tails] A. R. Mambetalieva et al. *Nauka i tekhnika Kazakhstana* [Science and Technology of Kazakhstan]. – 2024. – No. 3. – P. 213–223 (in Russian)
4. *Razrabotka tekhnologii pererabotki tonko vkraplennykh upornykh lezhalykh khvostov obogashcheniya medno-tsinkovykh rud* [Development of a processing technology for fine-disseminated refractory old tailings from copper–zinc ore beneficiation] O. A. Dryuchkova et al. *Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva* [Bulletin of D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University]. – 2020. – P. 22–27 (in Russian)
5. *Rossamakhina N. S. Sposoby pererabotki postupayushchikh i lezhalykh khvostov medno-tsinkovoi obogatitel'noi fabriki* [Methods of processing incoming and stale tailings of a copper-zinc processing plant]. *Sovremennye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya* [Modern Problems of Ecology and Nature Management]. – Penza, 2023. – P. 93–97 (in Russian)
6. *Research on the separation of malachite from quartz with S-carboxymethyl-O,O'-dibutyl dithiophosphate chelating collector and its insights into flotation mechanism* / X. Zhang et al. // *Powder Technology*. – 2020. – P. 374–406 (in English)
7. *Flotation Behavior of Malachite Using Hydrophobic Talc Nanoparticles as Collectors* / J. Choi et al. // *Minerals*. – 2020. – No. 10 (9). – P. 1–9 (in English)
8. *Flotation Performance and Adsorption Mechanism of a Novel Collector for Copper Oxide Minerals* / B. Hu et al. // *Minerals*. – 2022. – No. 12 (4). – P. 1–14 (in English)
9. *Vliyanie ul'tratonkogo izmel'cheniya na tekhnologicheskie pokazateli obogashcheniya otval'nykh khvostov* [The effect of ultrafine grinding on the technological parameters of the enrichment of dump tailings] A. R. Mambetalieva et al. *Vestnik KazUTB* [Bulletin of the Kazakh University of Technology and Business]. – 2024. – P. 466–476 (in Russian)
10. *Kollektivnaya flotatsiya obeskremlennogo tekhnogennogo baritovogo syr'ya* [Collective flotation of desircified technogenic barite raw material] K. S. Turebekova et al. *Gornyi zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan]. – 2022. – No. 12. – P. 46–50 (in Russian)

### Сведения об авторах:

**Сабирова Л. Б.**, к. т. н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и газотурбинные установки» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [lsabirova@satbayev.university](mailto:lsabirova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-8231-9944>

**Мамбеталиева А. Р.**, доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.mambetalieva@satbayev.university](mailto:a.mambetalieva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

**Қалиасқар С.**, магистр техн. наук, инженер-исследователь ТОО «ҚазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), [sulya-95@mail.ru](mailto:sulya-95@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0007-0568-3698>

**Тусупбекова Т. Ш.**, начальник лаборатории обогащения, ТОО «ҚазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), [tansholpan\\_87.09@mail.ru](mailto:tansholpan_87.09@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

### Авторлар туралы мәліметтер:

**Сабирова Л. Б.**, т. ғ. к., Satbayev University «Технологиялық машиналар және газ-турбиналық кондырғылар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Мамбеталиева А. Р.**, Ph.D докторы, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Қалиасқар С.**, техника ғылымдарының магистрі, «ҚазГидроМедь» ЖШС инженер-зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Түсіпбекова Т. Ш.**, «ҚазГидроМедь» ЖШС байыту зертханасының басшысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

### Information about the authors:

**Sabirova L. B.**, Ph.D, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Gas Turbine Units. Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Mambetalieva A. R.**, Ph.D, Associate Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Kaliaskar S.**, Master of Technical Sciences, Research Engineer at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

**Tussupbekova T. Sh.**, Chief of Mineral Processing Laboratory at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)