

Научная статья
УДК 622-765
DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-2-70-78

Флотационное обогащение вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота

**Юлия Викторовна Уразова¹, Михаил Юрьевич Тиунов²,
Андрей Юрьевич Чикин³**

^{1,2}Иркутский научно-исследовательский институт благородных
и редких металлов и алмазов, г. Иркутск, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

¹urazova@irgiredmet.ru, ²tmu@irgiredmet.ru, ³anchik53@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
11.04.2023

Одобрена после
рецензирования 20.05.2023

Принята к публикации
25.05.2023

Ключевые слова:

*флотация, вольфрамовые
руды, кондиционирование
вод, оборотные воды,
реагентный режим,
замкнутый цикл,
содержание, извлечение,
карбонаты, силикаты*

Технологические процессы обогащения основаны на потреблении большого количества воды от рудоподготовительных переделов до получения готовой продукции. Вода является неотъемлемым участником обогащения, и её качество напрямую влияет на уровень извлечения полезного компонента и качество получаемых продуктов в процессе обогащения. Одной из основных социально-экономических проблем является сохранение водных ресурсов и снижение загрязнения окружающей среды. Решение данной проблемы заключается в снижении потребления свежей воды в технологических процессах и увеличении степени водооборота на промышленных предприятиях. Объектом исследования является процесс флотационного обогащения относительно бедной вольфрамовой руды, с исходным содержанием ценного компонента 0,35–0,42 %. Цель исследования – поиск новых технологических решений в условиях замкнутого водооборота для сокращения потребления свежей воды и обеспечения удовлетворительного уровня извлечения и качества конечных продуктов. Задачи исследования: подобрать оптимальный режим флотации в условиях замкнутого водооборота, локализовать область концентраций примесей и определить предельные концентрации компонентов, при которых их влияние на извлечение находится в пределах допустимого, установить необходимые кондиционные режимы. В данной статье поднимается проблема, возникающая при переработке вольфрамовых кальцийсодержащих руд в условиях водооборота. При выполнении теоретических и экспериментальных исследований установлено, что без предварительного кондиционирования оборотной воды, технологические показатели обогащения значительно снижаются, так, например, извлечение ценного компонента в условиях замкнутого водооборота снижается с 80 до 40 %. Это объясняется накоплением в оборотной воде значительного количества карбонатов и силикатов. Данные показатели не удовлетворяют необходимым требованиям и являются основанием для поиска новых технологических решений. На основе этого проведен трёхэтапный эксперимент, который позволил определить предельные концентрации вредных примесей. Выявлено, что предельная концентрация силикатов зависит от карбонатного фона вод. Полученные данные экспериментальных исследований по предварительному кондиционированию оборотных вод удовлетворяют требуемым качественным и количественным показателям. Разработано два метода кондиционирования – химический и физико-химический.

Original article

Flotation Enrichment of Tungsten Ores in Conditions of Closed Water Circulation

Yulia V. Urazova¹, Michail Yu. Tiunov², Andrey Yu. Chikin³^{1,2}Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds, Irkutsk, Russia,²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia¹urazova@irgiredmet.ru, ²tmu@irgiredmet.ru, ³anchik53@mail.ru**Information about the article**

Received April 11, 2023

Approved after reviewing
May 20, 2023Accepted for publication
May 25, 2023**Keywords:**flotation, tungsten ores,
water conditioning,
circulating water, reagent
mode, closed cycle, content,
extraction, carbonates,
silicates

The technological processes of enrichment are based on the consumption of a large amount of water from ore processing to the production of finished products. Water is an integral participant in enrichment, and its quality directly affects the level of extraction of the useful component and the quality of the products obtained during the enrichment process. One of the main socio-economic problems is the conservation of water resources and the reduction of environmental pollution. The solution to this problem is to reduce the consumption of fresh water in technological processes and increase the degree of water turnover at industrial enterprises. The object of the study is the process of flotation enrichment of relatively poor tungsten ore, with an initial content of a valuable component of 0.35–0.42 %. The purpose of the study is to search for new technological solutions in conditions of closed water circulation to reduce the consumption of fresh water and ensure a satisfactory level of extraction and quality of final products. Research objectives are the following: selection of the optimal flotation regime in conditions of a closed water circulation, localization of the area of impurity concentrations and determination of the maximum concentrations of components at which their effect on extraction is within acceptable limits, establishment of the necessary conditioning modes. The significance of the research lies in the need to find new technological solutions in a closed water cycle to reduce the consumption of fresh water and ensure a satisfactory level of extraction and quality of the final products. This article examines the relevance of the problem arising during the processing of tungsten calcium-containing ores in the conditions of water circulation. According to theoretical and experimental studies, it was found that without pre-conditioning of recycled water, the technological indicators of enrichment are significantly reduced, so, for example, the extraction of a valuable component in a closed water cycle is reduced from 80 to 40 %. This is due to the accumulation of a significant amount of carbonates and silicates in the recycled water. These indicators do not meet the requirements and are the basis for the search for new technological solutions. Based on this, a three-stage experiment was conducted, which allowed determining the maximum concentrations of harmful impurities. It is revealed that the maximum concentration of silicates depends on the carbonate background of the waters. The obtained data of experimental studies on the pre-conditioning of circulating waters satisfy the required qualitative and quantitative indicators. Two methods of conditioning have been developed – chemical and physico-chemical.

Введение. Применение замкнутого водооборота на предприятиях имеет ряд особенностей, зависящих непосредственно от многих факторов, таких как:

- ионный состав используемых природных вод [6; 7];
- вещественный состав перерабатываемых руд [9];
- разнообразие применяемых флотационных реагентов.

Полную очистку промышленных сточных вод существующими методами на функционирующих очистных сооружениях обеспечить достаточно сложно, т. к. данный процесс является энергоёмким и дорогостоящим.

Актуальность проблемы заключается в использовании оборотного водоснабжения на предприятиях без предварительного кон-

диционирования вод. Данный фактор зачастую приводит к снижению показателей обогащения и/или к полной остановке процесса. Особенно остро стоит данный вопрос при ведении флотации вольфрамовых кальцийсодержащих минералов.

Объектом исследования является процесс флотационного обогащения относительно бедной вольфрамовой руды, с исходным содержанием ценного компонента 0,35–0,42 %.

Стоит отметить, что из-за низких содержаний ценного компонента в рудах и высоких требований к качеству конечных продуктов технология обогащения вольфрамовых руд имеет свои специфические особенности.

К таким особенностям можно отнести:

- многостадийность и разветвлённость технологических схем;

- особенности вещественного состава вольфрамовых руд;
- применение термической обработки черновых концентратов, так называемая «пропарка» [1].

Предмет исследования – процесс концентрации примесей (карбонаты, силикаты), затрудняющих процесс флотации в условиях водооборота.

Цель исследования – поиск новых технологических решений в условиях замкнутого водооборота для сокращения потребления свежей воды и обеспечения удовлетворительного уровня извлечения и качества конечных продуктов.

Задачи исследования: подобрать оптимальный режим флотации в условиях замкнутого водооборота, локализовать область концентраций примесей и определить предельные концентрации компонентов, при которых их влияние на извлечение находится в пределах допустимого, установить необходимые кондиционные режимы.

Методология и методики исследований. Методология исследования основывается на изучении свойств компонентов оборотной воды и их влиянии на процесс флотации.

При проведении опытов по флотации использовано оборудование АО «Иргиредмет», установленное на участке полупромышленных испытаний (лабораторные мельницы, флотационные машины механического типа и вспомогательное оборудование). Исследования выполнялись в соответствии с общепринятыми методиками рудоподготовки и флотационного обогащения.

Основные результаты исследований и их обсуждение. Для переработки исследуемой руды применялась селективная схема флотации для извлечения сульфидных минералов, на первой стадии на второй стадии шеелитового продукта, включающая основные операции, пропарку черновых концентратов и доводку пропаренных продуктов до кондиционных [10].

Схема проведения флотации бедной вольфрамовой руды показана на рис. 1.

На исследуемой вольфрамовой руде проведены флотационные опыты в условиях замкнутого водооборота. Пробы руды измельчали до крупности 60–65 % класса минус 0,071 мм. Опыты проводились согласно действующим методикам, применяемым при проведении лабораторных исследований по флотационному обогащению.

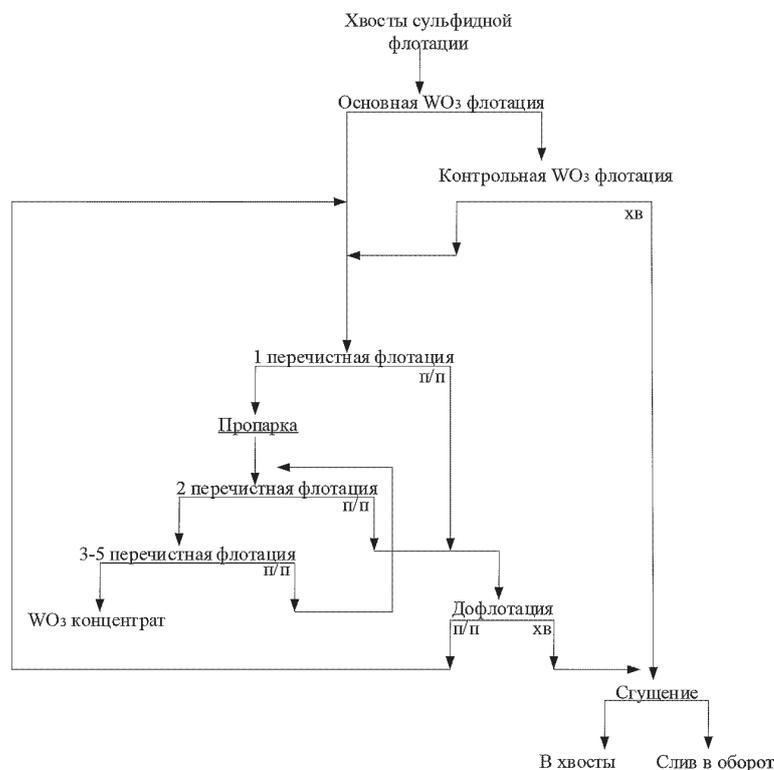


Рис. 1. Технологическая схема флотационного обогащения бедной вольфрамовой руды / **Fig. 1.** Technological scheme of flotation enrichment of poor tungsten ore

Результаты опытов по флотации в замкнутом цикле не подтвердили рекомендованные, согласно ранее разработанному технологическому регламенту показатели флотации вольфрамовых руд. При этом наблюдается повышенное содержание ценных компонентов в хвостах флотации на 0,45 %, отмечается снижение выхода до 0,159 % и извлечения шеелитового концентрата до 1,8 % при флотации с применением природной воды (рис. 2), что говорит об отрицательном влиянии ионного состава шахтных вод на процесс шеелитовой флотации.

На основе полученных результатов принято решение по корректировке режима флотации и поиска оптимальных параметров флотации. Опытным путём подобраны оптимальные условия флотации вольфрамовой руды, такие как крупность питания флотации, подбор реагентов, расходы применяемых реаген-

тов, продолжительность операций флотации, температурные режимы пропарки¹ [11; 12; 15].

На скорректированном режиме проведено опробование замкнутого режима флотации. В результате флотационного обогащения вольфрамовой руды с имитацией замкнутого цикла извлечение трехоксида вольфрама составило 80,86 % при выходе концентрата 0,957 % и содержании в нём ценного компонента 37,17 % (допускается по согласованию с заказчиком). Результаты замкнутых циклов на рекомендованном и скорректированном реагентных режимах приведены на рис. 2. Результаты, полученные в лабораторных исследованиях, показали возможность работы применяемой технологической схемы в условиях замкнутого водооборота. Разработанный режим флотации испытан в условиях полупромышленных испытаний с замкнутым водооборотом.

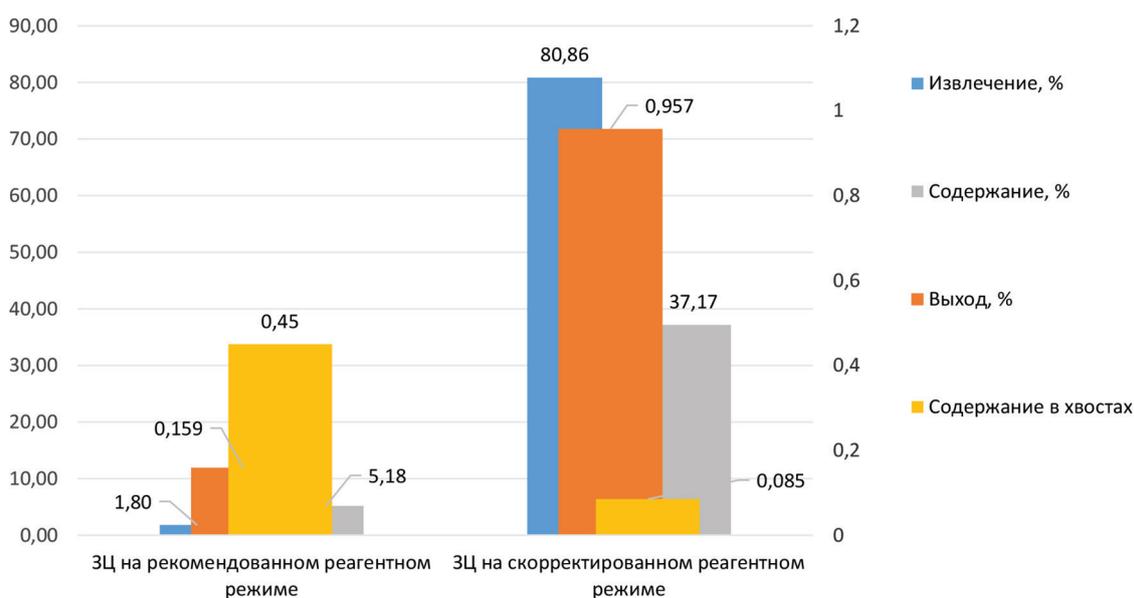


Рис. 2. Результаты замкнутых циклов / Fig. 2. Results of closed cycles

Степень использования оборотных вод принята в соответствии с ранее разработанным технологическим регламентом и составляет 70 %.

Замкнутый режим флотации в условиях полупромышленных испытаний показал невозможность применения рекомендованного режима сгущения с известью и нейтрализацией серной кислотой для шеелитовой флотации. Наблюдалось визуальное изменение вида и текстуры пены, извлечение основного компонента вольфрама снизилось с 82,72 до 40 %. Данные показатели не удовлетворяют

необходимым и являются основанием для поиска оптимального режима сгущения и водоочистки

Невозможность применения замкнутого водооборота обуславливается присутствием и последующим накоплением в оборотной воде основных препятствующих примесей – карбонатов и силикатов [3; 14]. Для поиска пути решения проблемы применен трехэтапный эксперимент, включающий на первом и

¹ Самойлик В. Г. Исследования полезных ископаемых на обогатимость: учеб. пособие. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – 190 с.

втором этапах поиск оптимальной области концентраций методом математического планирования [5; 13]. Для построения эмпирического уравнения отклика использован ортогональный центрально-композитный план второго порядка [8]. Этот подход позволил, помимо основной задачи (поиск области оптимальных концентраций), оценить характер проведения процесса флотации и тип влияния на него основных примесей (карбонаты, силикаты). Третий этап включал определение предельных концентраций примесей.

При проведении работы в подготовленных пробах модельных вод корректировали

водородный показатель до значения pH 8,5 соляной кислотой. Флотация с использованием модельных вод проводилась в соответствии с установленным ранее реагентным режимом. Для оценки эффективности процесса использовались значения общего извлечения полезного компонента рассчитанное по хвостам.

Проведённые исследования позволили локализовать область концентраций примесей и определить предельные концентрации компонентов при которых их влияние на извлечение находится в пределах допустимого.

Таблица 1 / Table 1

Предельные концентрации силикатов при достижении целевого извлечения $WO_3 - 92\%$ / Limiting silicate concentrations when achieving the target extraction of $WO_3 - 92\%$

Показатель / Indicator	Диапазон предельных концентраций / Range of limit concentrations	
Гидрокарбонат натрия, г/л / Sodium bicarbonate, g/l	0,54	0,25
Жидкое стекло, г/л / Liquid glass, g/l	0,28	0,23
Кремний, мг/л / Silicon, mg/l	94,88	76,93

Из полученных данных определена зависимость предельной концентрации кремния в оборотной воде, обеспечивающая требования извлечения целевых элементов от концентраций соды. Предельная концентрация силикатов зависит от карбонатного фона вод. При его увеличении стабильность работы флотации сохраняется при более высоком содержании кремния.

Благоприятное влияние карбонатов может быть связано с подавлением растворимости кальция из рудного материала, что обеспечивает активность флотореагентов на требуемом уровне. Для обеспечения работоспособности основных операций флотации шеелитовой руды при кондиционировании необходимо удалять кремний из оборотных вод. В качестве целевой концентрации Si следует принимать экспериментально определенные значения.

Опираясь на результаты предельно допустимых концентраций, проведён ряд экспериментальных исследований по водоподготовке для получения удовлетворительных показателей обогащения.

По результатам исследований на модельных водах разработано два процесса кондиционирования. Первый – химический метод, включающий кальций-хлоридную обработку оборотных вод с отделением осадка и щелоч-

но-содовую обработку на финальной стадии. Схема подготовки вод для проведения флотации химическим методом представлена на рис. 3.

Результаты флотации на подготовленной воде представлены в табл. 2.

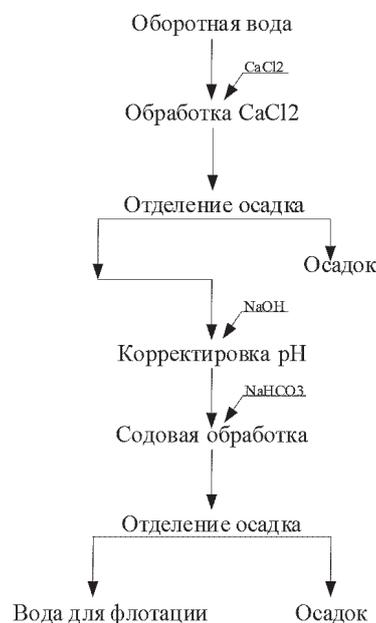


Рис. 3. Схема подготовки воды химическим методом для проведения флотации /

Fig. 3. Scheme of water preparation by chemical method for flotation

Таблица 2 / Table 2

Результаты флотации на кондиционной воде, приготовленной первым методом /
Results of flotation on conditioned water prepared by the first method

Наименование / Name	Выход, % / Exit, %	Содержание WO_3 , % / Content WO_3 , %	Извлечение WO_3 , % / Extraction WO_3 , %
Общие концентрат / General concentrate	0,61	35,6	85,4
Общие хвосты / Common tails	99,39	0,037	14,6
Итого / Total	100	0,254	100

Второй – физико-химический метод, включающий насыщение оборотной воды углекислым газом до нейтрального pH, кальций-хлоридную обработку и электрокоагуляцию полученной воды с последующим отделением осадка. Схема подготовки воды для проведения флотации физико-химическим методом для проведения флотации представлена на рис. 4 [2; 4].

Результаты флотационного обогащения вольфрамовой руды в замкнутом цикле представлены на рис. 5 и табл. 3.

Полученные результаты по флотации вольфрамовых руд на водах, моделирующих степень водооборота 70 %, позволили получить извлечение близкое к необходимым показателям: 85,4 и 86,1 % при использовании первого и второго методов кондиционирования соответственно. Выбор метода кондиционирования оборотных вод должен производиться по результатам ТЭР (технико-экономического расчёта).

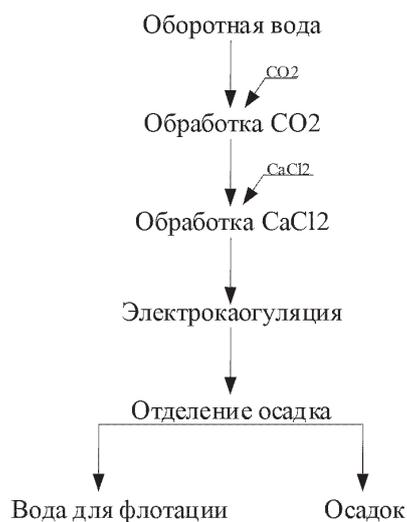


Рис. 4. Схема подготовки воды физико-химическим методом для проведения флотации / Fig. 4. Scheme of water preparation by physico-chemical method for flotation

Таблица 3 / Table 3

Результаты флотации на кондиционной воде, приготовленной вторым методом /
Results of flotation on conditioned water prepared by the second method

Наименование / Name	Выход, % / Exit, %	Содержание WO_3 , % / Content WO_3 , %	Извлечение WO_3 , % / Extraction WO_3 , %
Общие концентрат / General concentrate	0,58	36,1	86,1
Общие хвосты / Common tails	99,42	0,034	13,9
Итого / Total	100	0,243	100

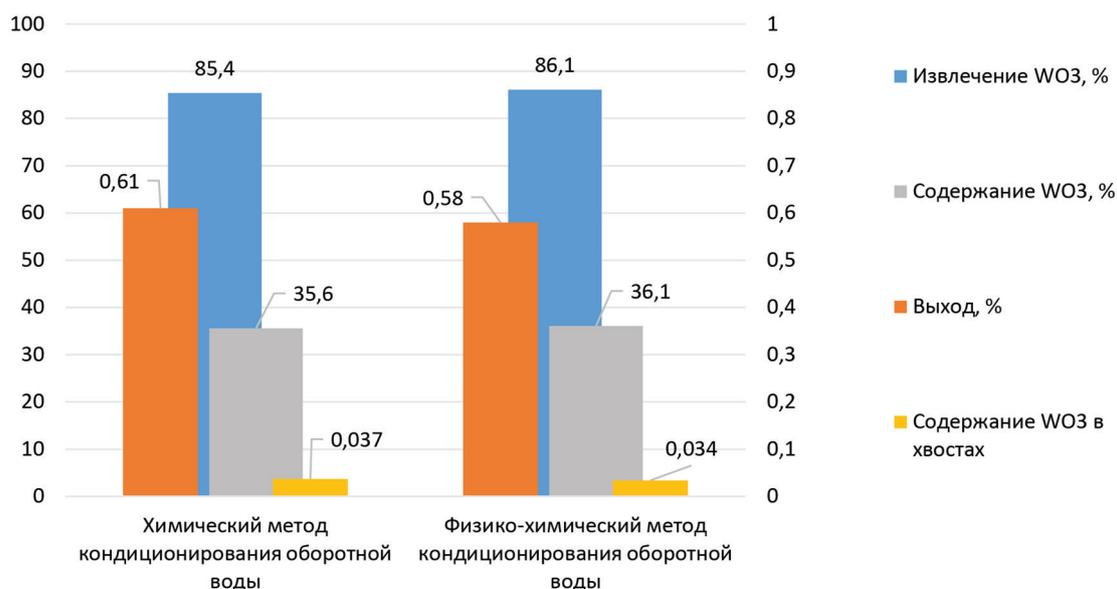


Рис. 5. Основные параметры флотационного обогащения вольфрамовой руды в условиях 70 % оборота воды / **Fig. 5.** Main parameters of flotation enrichment of tungsten ore under conditions of 70 % water turnover

Выводы. При обогащении вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота без предварительной подготовки оборотной воды происходит заметное снижение основных показателей флотации. Выполненные иссле-

дования по предварительному кондиционированию оборотной воды позволили определить два процесса подготовки воды, обеспечивающие степень водооборота 70 % и необходимые показатели при флотационном обогащении.

Список литературы

1. Броницкая Е. С., Ануфриева С. И., Иванова М. В., Лаптева А. М. Современное состояние и основные направления развития технологии переработки шеелитовых руд // Разведка и охрана недр. 2018. № 6. С. 36–42.
2. Двойченкова Г. П., Морозов В. В., Чантурия Е. Л., Коваленко Е. Г. Выбор параметров электрохимического кондиционирования оборотной воды при подготовке алмазосодержащих кимберлитов к пенной сепарации // Горные науки и технологии. 2021. Т. 6, № 3. С. 170–180.
3. Жугалева Е. К. Очистка сточных вод и организация замкнутых циклов водоснабжения предприятий металлургического производства // Достижения вузовской науки 2018: сб. ст. междунар. науч.-практ. конкурса: в 3 ч. Пенза: Наука и Просвещение, 2018. Ч. 1. С. 256–259.
4. Коваленко Е. Г., Двойченкова Г. П., Морозов В. В. Выбор и обоснование режимов кондиционирования водно-минеральных систем при обогащении алмазосодержащих кимберлитов // Плаксинские чтения: материалы междунар. конф. Владивосток: Дальневост. фед. ун-т, 2022. С. 102–104.
5. Медяник Н. Л., Шевелин И. Ю., Какушкин С. Н., Вафин В. Р. Моделирование процесса очистки сточных вод горных предприятий // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф., проводимой в рамках XVI Урал. горнопром. декады. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2018. С. 22–25.
6. Пестряк И. В. Развитие физико-химических основ и создание технологии малореагентного кондиционирования оборотных вод сложного состава при обогащении медно-молибденовых руд в условиях дефицита водных ресурсов: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.13. М.: НИТУ МИСиС, 2020. 320 с.
7. Пестряк И. В. Обоснование и разработка эффективных методов кондиционирования оборотных вод обогатительных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 7. С. 153–159.
8. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. М.: Юрайт, 2019. 495 с.
9. Умарова И. К., Махмарежабов Д. Б., Сайдирахимов М. И. Изучение вещественного состава вольфрамсодержащих руд месторождения Койташ // Наука, образование, инновации: актуальные вопросы и современные аспекты: сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Пенза: Наука и просвещение, 2021. С. 70–73.

10. Уразова Ю. В., Тиунов М. Ю., Чикин А. Ю. Совершенствование флотационного обогащения вольфрамовых руд // Плаксинские чтения: материалы междунар. конф. Владивосток: Дальневост. фед. ун-т, 2022. С. 289–290.
11. Храмова Е. В. Бутуханов В. Л. Лабораторные и полупромышленные исследования процесса обогащения вольфрамсодержащей руды Лермонтовского месторождения Приморского края // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2020. С. 139–142.
12. Шепета Е. Д. Саматова Л. А. Андреева А. В. Поиск возможности интенсификации процесса селекции кальцийсодержащих минералов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 23. С. 38–47.
13. Юдин Ю. В. М. В. Майсурадзе, Ф. В. Водолазский. Организация и математическое планирование эксперимента. Екатеринбург: Урал. фед. ун-т, 2018. 124 с.
14. Hui Li, Juanping Qu, Tingshu. He A New Concept on High-Calcium Flotation Wastewater Reuse // Minerals. 2018. No. 8. P. 496–504.
15. Li Z., Rao F., García R. E., Li H., Song S. Partial replacement of sodium oleate using alcohols with different chain structures in malachite flotation // Minerals Engineering. 2018. Vol. 127. P. 185–191.

References

1. Bronitskaya E. S., Anufrieva S. I., Ivanova M. V., Lapteva A. M. The current state and main directions of development of the technology of processing sheelite ores. Exploration and protection of mineral resources, no. 6, pp. 36–42, 2018. (In Rus.).
2. Dvoychenkova G. P., Morozov V. V., Chanturiya E. L., Kovalenko E. G. The choice of parameters of electrochemical conditioning of recycled water in the preparation of diamond-containing kimberlites for foam separation. Mining Sciences and Technologies, vol. 6, no. 3, pp. 170–180, 2021. (In Rus.).
3. Zhugaleva E. K. Wastewater treatment and organization of closed water supply cycles of metallurgical enterprises. Achievements of university science 2018. Collection of articles of the International Scientific and Practical Competition. In 3 parts. Penza: Science and Education, 2018. (In Rus.).
4. Kovalenko E. G., Dvoychenkova G. P., Morozov V. V. The choice and justification of the modes of conditioning of water-mineral systems during the enrichment of diamond-containing kimberlites. Plaksin readings. Proceedings of the international conference. Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2022. (In Rus.).
5. Medyanik N. L., Shevelin I. Yu., Kakushkin S. N., Vafin V. R. Modeling of the wastewater treatment process of mining enterprises. Scientific foundations and practice of processing ores and technogenic raw materials. Materials of the XXIII International Scientific and Technical Conference held within the framework of the XVI Ural Mining Decade. Yekaterinburg: Fort Dialog-Iset, 2018. (In Rus.).
6. Pestryak I. V. The development of physico-chemical foundations and the creation of technology for low-reagent conditioning of circulating waters of complex composition during the enrichment of copper-molybdenum ores in conditions of water scarcity. Dissertation for the degree of doctor of technical sciences. 25.00.13. Moscow: NUST MISIS, 2020. (In Rus.).
7. Pestryak I. V. Substantiation and development of effective methods of conditioning of circulating waters of processing enterprises. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), no. 7, pp. 153–159, 2018. (In Rus.).
8. Sidnyaev N. I. Theory of experiment planning and statistical data analysis. Moscow: Yurayt, 2019. (In Rus.).
9. Umarova I. K., Mahmarezhabov D. B., Saydirahimov M. I. Study of the material composition of tungsten-containing ores of the Koytash deposit. Science, education, innovation: current issues and modern aspects. Collection of articles of the VII International Scientific and Practical Conference. Penza: Science and education, 2021. (In Rus.).
10. Urazova Yu. V., Tiunov M. Yu., Chikin A. Yu. Improvement of flotation enrichment of tungsten ores. Plaksin readings. Proceedings of the international conference. Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2022. (In Rus.).
11. Khramtsova E. V. Butuhanov V. L. Laboratory and semi-industrial studies of the process of enrichment of tungsten-containing ore of the Lermontov deposit of Primorsky Krai. Philosophy of modern nature management in the Amur River basin. Materials of the IX International Scientific and Practical Conference. Khabarovsk: Pacific State University, 2020. (In Rus.).
12. Shepeta E. D. Samatova L. A. Andreeva A. V. Search for the possibility of intensifying the process of selection of calcium-containing minerals. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), no. 23, pp. 38–47, 2019. (In Rus.).
13. Judin Ju. V. M. V. Majsuradze, F. V. Vodolazskij. Organization and mathematical planning of the experiment. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2018. (In Eng.).

14. Hui Li, Juanping Qu, Tingshu He A New Concept on High-Calcium Flotation Wastewater Reuse. *Minerals*, no. 8, pp. 496–504, 2018. (In Eng.).

15. Li Z., Rao F., García R. E., Li H., Song S. Partial replacement of sodium oleate using alcohols with different chain structures in malachite flotation. *Minerals Engineering*, vol. 127, pp. 185–191, 2018. (In Eng.).

Информация об авторах

Уразова Юлия Викторовна, младший научный сотрудник, Иргиредмет, г. Иркутск, Россия; urazova@irgiredmet.ru. Область научных интересов: исследования, обогащение, разработка технологий.

Тиунов Михаил Юрьевич, старший научный сотрудник, Иргиредмет, г. Иркутск, Россия; tmu@irgiredmet.ru. Область научных интересов: исследования, обогащение, разработка технологий.

Чикин Андрей Юрьевич, д-р техн. наук, профессор, Педагогический институт Иркутского государственного университета, г. Иркутск, Россия; anchik53@mail.ru. Область научных интересов: исследование и разработка природоохранных технологий очистки производственных сточных вод, технологий глубокой переработки полезных ископаемых с использованием физико-химических методов и процессов.

Information about the authors

Urazova Yulia V., junior researcher, Irgiredmet, Irkutsk, Russia; urazova@irgiredmet.ru. Research interests: research, enrichment, technology development.

Tiunov Mikhail Yu., senior researcher, Irgiredmet, Irkutsk, Russia; urazova@irgiredmet.ru. Research interests: research, enrichment, technology development.

Chikin Andrey Yu., doctor of technical sciences, professor, Pedagogical Institute of Irkutsk State University, Irkutsk, Russia; anchik53@mail.ru. Research interests: research and development of environmental technologies for industrial wastewater treatment, technologies for deep processing of minerals using physico-chemical methods and processes.

Вклад авторов в статью

Ю. В. Уразова – выполнение исследований, анализ, обсуждение и оформление полученных результатов.

М. Ю. Тиунов – выполнение исследований, анализ и обсуждение полученных результатов.

А. Ю. Чикин – анализ и обсуждение полученных результатов.

The author's contribution to the article

Yu. V. Urazova – research, analysis, discussion and presentation of the results obtained.

M. Yu. Tiunov – research, analysis and discussion of the results obtained.

A. Yu. Chikin – analysis and discussion of the results obtained.

Для цитирования

Уразова Ю. В., Тиунов М. Ю., Чикин А. Ю. Флотационное обогащение вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 70–78. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-2-70-78.

For citation

Urazova Yu. V., Tiunov M. Yu., Chikin A. Yu. Flotation enrichment of tungsten ores in conditions of closed water circulation // *Transbaikal State University Journal*. 2023. Vol. 29, no. 2. P. 70–78. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-2-70-78.