ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622-765 DOI: 10.21440/0536-1028-2024-1-74-83

Изучение механизма взаимодействия жирнокислотных собирателей с поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов

Уразова Ю. В.[1]*, Тиунов М. Ю.[1], Федотов Е. Н.[1], Чикин А. Ю.[2]
[1] Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, г. Иркутск, Россия
[2] Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
e-mail: urazova@irgiredmet.ru

Реферат

Введение. *Изучение взаимодействия реагентов с минеральной поверхностью в процессе флотации имеет существенное значение для повышения извлечения ценных компонентов в концентрат и качества концентратов, а также для изыскания новых реагентов и способов их применения для улучшения разделения минералов. Работа посвящена изучению механизма взаимодействия активных компонентов реагентов собирателя (талловое масло) с минеральной поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов.*

Методология и методики исследования. *Исследования проводились методом ядерного магнитного резонанса. Для надежности идентификации отдельных компонентов смеси запись спектров производилась в растворе дейтерированного хлороформа, так как именно в этом растворителе представлены данные спектров ядерного магнитного резонанса индивидуальных соединений (смоляных, жирных кислот и стеринов) в базе данных органических соединений National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).*

Результаты и их анализ. *В работе изучены составы сортов реагентов собирателей (талловых масел) различной степени переработки. Из испытуемых реагентов выбран один, на котором произведен модельный эксперимент по флотации для определения компонентов, взаимодействующих с минеральной поверхностью. В эксперименте также, помимо жирнокислотного собирателя, применялись реагенты в соответствии с реагентным режимом для данной руды и пропарка концентрата для воссоздания всех условий технологической схемы обогащения.*

Вывод. *В результате проделанной работы выявлены активные компоненты жирнокислотного собирателя и возможный механизм их взаимодействия с поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов.*

Ключевые слова: *талловое масло; жирные кислоты; закрепление собирателя; вольфрамовые руды; ядерный магнитный резонанс; спектр ЯМР; модельный эксперимент; элементный анализ.*

Введение. Флотационное обогащение играет важную роль в развитии современной техники в различных отраслях добывающей и перерабатывающей промышленности. Исследование флотационных реагентов является одним из ключевых аспектов развития этой технологии [1].

Одной из главных проблем, с которыми сталкиваются исследователи, является понимание механизма и кинетики взаимодействия флотационных реагентов с минералами, включая изучение процессов адсорбции реагентов на поверхности минералов, формирование пленок на поверхности и взаимодействие между

реагентами и минералами в растворе. Понимание этих процессов позволяет оптимизировать условия флотации и повысить эффективность обогащения.

Цель работы заключается в изучении механизма взаимодействия реагента собирателя с минеральной поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов.

Методология и методики исследования. Методология исследования основывается на изучении свойств реагента, компонентов в его составе и выявлении возможного механизма взаимодействия реагента собирателя с минеральной поверхностью.

Исследования проводились с использованием ядерного магнитного резонанса (ЯМР) – надежного метода для идентификации компонентов смесей. В нашем случае, чтобы обеспечить более точную идентификацию, спектры были записаны в растворе дейтерированного хлороформа (CDCl3). При помощи сканирующего электронного микроскопа TM3000 (Hitachi, Япония) с блоком элементного анализа исследована минеральная поверхность шеелитовой фракции до и после модельного опыта по флотации. Исследования выполнялись в соответствии с общепринятыми методиками.

Таблица 1. Состав образцов таллового масла, % массовые
Table 1. Composition of tall oil samples, % m/m

Образец	Жирные кислоты		Смоляные кислоты	Стерины
	Предельные	Непредельные		
№ 1	30	25	40	5
№ 2	25	55	20	–
№ 3	35	55	10	–
№ 4	5	95	–	–
№ 5	40	50	5	5

Основные результаты исследования и их анализ. Составы талловых масел [2, 3] напрямую зависят от вида перерабатываемой древесины, ее породы, географической широты произрастания, времени заготовки, продолжительности и способа хранения древесного сырья и других сырьевых факторов.

Методом ядерного магнитного резонанса [4–6] исследованы пять образцов таллового масла разной степени переработки.

Основные компоненты таллового масла: жирные кислоты (предельные и непредельные), смоляные кислоты, нейтральные вещества (омыляемые и неомыляемые компоненты). Жирные кислоты представлены в основном предельными (стеариновая, пальмитиновая) и непредельными (олеиновая, линолевая, линоленовая) кислотами. Основной составляющей смоляных кислот (до 75 %) является смесь абиетиновой и дегидроабиетиновой кислот. Нейтральные компоненты таллового масла – стерины, природные соединения, производные стероидов, относятся к группе стероидных спиртов, естественным образом присутствующих в растениях. В основе структуры растительных стеринов (фитостеролов) лежит насыщенный тетрациклический углеводород стеран, содержащий гидроксильную группу. Полученные спектральные данные позволяют определить компонентный состав образцов № 1–5 (табл. 1). Нумерация образцов и производитель: образец № 1 – сырое талловое масло (группа «ИЛИМ»); № 2 – дистиллированное талловое масло (группа «ИЛИМ»); № 3 – легкое талловое

масло (группа «ИЛИМ»); № 4 – жирные талловые кислоты (группа «ИЛИМ»); № 5 – сырое талловое масло СЦКК (ОАО «Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат»).

Для дальнейших исследований был принят образец № 5 – сырое талловое масло производства ОАО «СЦКК» (г. Селенгинск). Выбор данного образца обоснован ранее проведенными исследованиями по флотационному обогащению с целью определения наилучших показателей обогащения при применении упомянутых талловых масел.

С целью выявления активных компонентов таллового масла при контакте с поверхностью кальцийсодержащего вольфрамового минерала [7–9] проведено моделирование процесса флотации в лабораторных условиях с одним из испытуемых талловых масел. Для модельного эксперимента на основе ранее проведенных работ [10–12] разработан реагентный режим для исследуемой руды [13]. Схема проведения модельного опыта приведена на рис. 1.

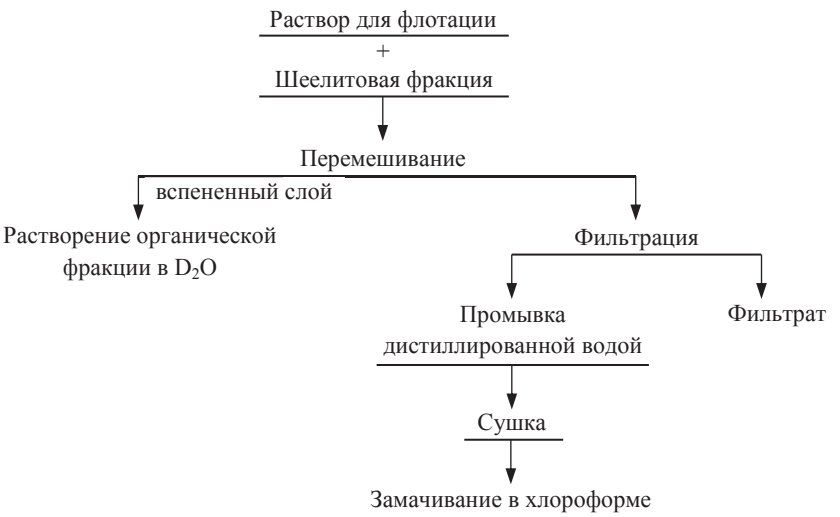


Рисунок 1. Схема проведения модельного опыта флотации
Figure 1. Scheme of conducting a model flotation experiment

Концентрат активировался в ранее приготовленном растворе, состоящем из дистиллированной воды с добавлением 5 % омыленного таллового масла. В ходе интенсивного перемешивания на поверхности пульпы образовывалась устойчивая пена. Верхний слой отбирался, высушивался и растворялся в дейтериевой тяжелой воде. Водный раствор, в котором проводилась флотация, фильтровался от оставшейся шеелитовой фракции, которая после промывалась дистиллированной водой, сушилась и замачивалась в хлороформе.

Спектр ЯМР ^{1}H (рис. 2, *а*) показывает, что 5 %-й раствор омыленного таллового масла с добавлением дистиллированной воды содержит характерные сигналы протонов при двойной связи –CH=CH– ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, метиленовых групп в α-положении при карбоксиле $–CH_2–COOH$ (2.6–2.4 м. д.), метиленовых групп в β-положении (1.7–1.6 м. д.), метиленовых групп, находящихся при метиновых с двойной связью $–CH_2–CH=CH–CH_2–$ (2.4–2.3 м. д.), метиленовых групп, располагающихся между метиновыми с двойной связью $=CH–CH_2–CH=$ (2.7–2.6 м. д.), метиленовых групп углеводородной цепи $(–CH_2–)n$ (1.4–0.9 м. д.), а также метильных групп $–CH_3$ (0.9–0.7 м. д.).

Для проверки соотношения насыщенных и ненасыщенных кислот в омыленном состоянии был записан спектр ЯМР ^{13}C этого раствора (рис. 2, *б*). Наличие сигналов в области 130–127 м. д. подтверждает присутствие ненасыщенных и полиненасыщенных кислот.

Спектр ЯМР ^{1}H водного раствора, в котором проводилась флотация, представлен на рис. 3, *а*. Сравнивая спектр водного раствора после флотации со спектром 5 %-го раствора омыленного таллового масла (рис. 2, *а*), можно отметить, что интегральные интенсивности другие. Исходя из интенсивности сигнала 2.5 м. д., можно считать, что содержание полиненасыщенных кислот уменьшилось. Вероятно, часть полиненасыщенных кислот осталась на минеральной поверхности.

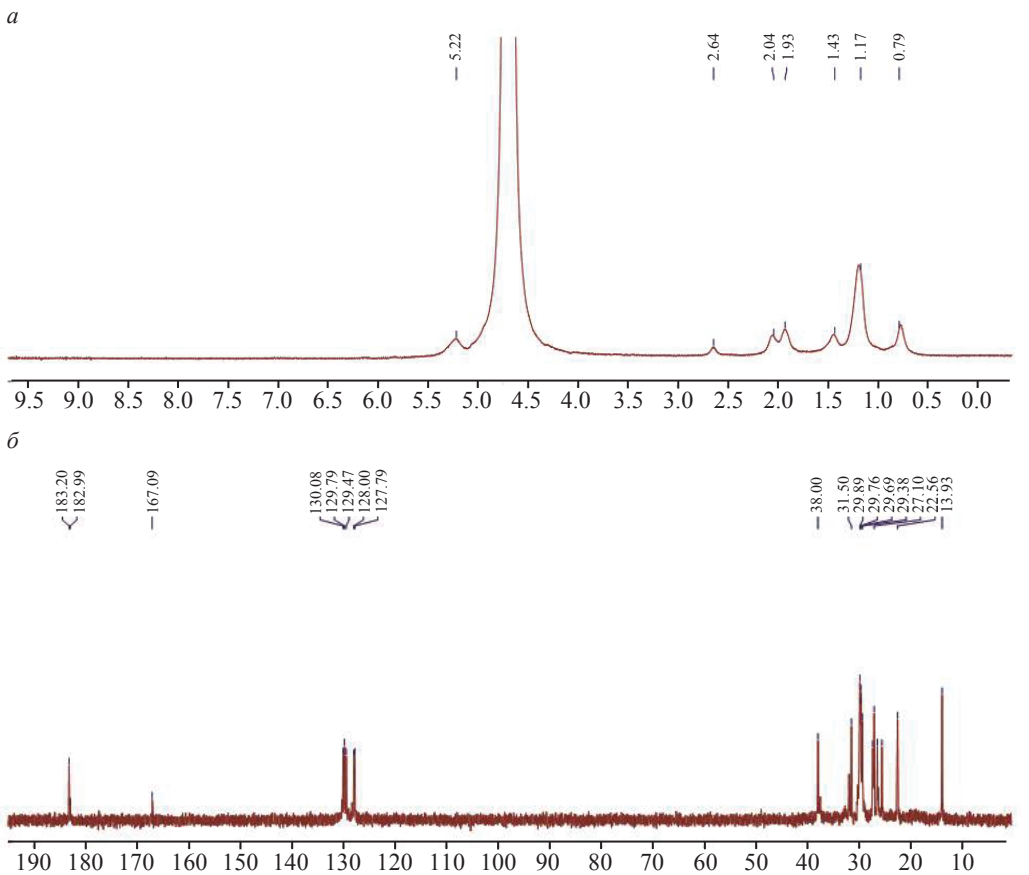


Рисунок 2. Спектр ядерного магнитного резонанса: *а* – ^{1}H 5 %-го раствора омыленного таллового масла в H_2O (4.6 м. д. – сигнал растворителя); *б* – ^{13}C 5 %-го раствора омыленного таллового масла в H_2O

Figure 2. Nuclear magnetic resonance spectrum: *a* – ^{1}H of a 5% solution of saponified tall oil in H_2O (4.6 ppm – solvent signal); *б* – ^{13}C of a 5% solution of saponified tall oil in H_2O

Спектр ЯМР ^{1}H органической фракции, смытой с минерала, приведен на рис. 3, *б*.

В спектре (рис. 3, *б*) наблюдается сигнал 3.67 м. д., относящийся к метиленовым группам в α-положении при карбоксиле $–CH_2–COO$. Смещение сигнала в слабое поле вызвано перераспределением заряда. Наличие сигналов 5.36, 4.34, 4.20

свидетельствует о присутствии ненасыщенных жирных кислот. Доля этих кислот совсем незначительная, около 5 %.

Делая вывод по рис. 3, *а*, *б*, можно предположить, что оставшиеся на поверхности полиненасыщенные кислоты, которые не смылись с минерала, закрепились на ней за счет химических связей, образовавшихся на границе раздела. А, как известно, хемосорбция анионов и катионов протекает лучше, когда они образуют соответственно с катионом или анионом кристаллической решетки труднорастворимые или комплексные соединения [14, 15].

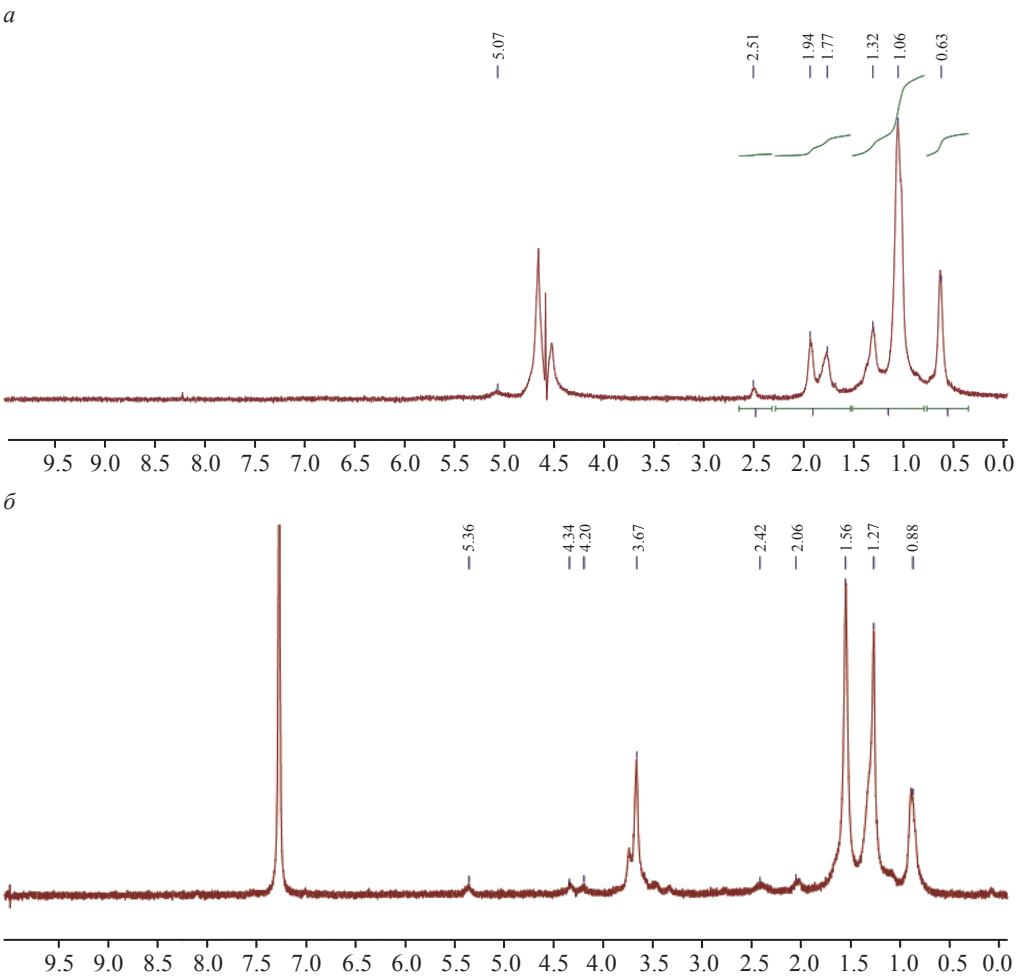


Рисунок 3. Спектр ядерного магнитного резонанса: *а* – ^{1}H водного раствора после флотации (сигнал растворителя подавлен); *б* – ^{1}H органической фракции, смытой с минерала (сигнал растворителя $CHCl_3$ 7.27)

Figure 3. Nuclear magnetic resonance spectrum: *а* – ^{1}H of an aqueous solution after flotation (the solvent signal is suppressed); *б* – ^{1}H of the organic fraction washed off from the mineral (solvent signal $CHCl_3$ 7.27)

Кроме этого, для повторения полной технологии обогащения на концентрате проведен модельный процесс пропарки [16]. Схема проведения модельного процесса приведена на рис. 4. Спектр ЯМР ^{1}H органической фракции, снятой с концентрата после пропарки, представлен на рис. 5.

В спектре на рис. 5, как и в случае использования хлороформа (рис. 3, *б*) наблюдается сигнал 3.57 м. д., который ранее в омыленном талловом масле не проявлялся. По всей видимости, при экстракции с поверхности концентрата органические кислоты претерпевают химическую модификацию (автоокисление), приводящую к появлению новых сигналов. Это может свидетельствовать о разрушении ранее образованных химических связей полиненасыщенных кислот с минеральной поверхностью.

При помощи сканирующего электронного микроскопа с блоком элементного анализа концентрат шеелита был исследован до и после проведения флотации (рис. 6). По данным микроскопии концентрат представляет однородную фракцию размером 50 мкм с редкими включениями частиц размерами до 200 мкм.

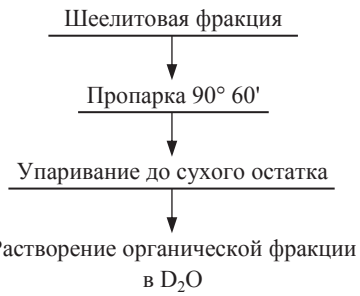


Рисунок 4. Схема проведения модельного процесса пропарки
Figure 4. Scheme of the model steaming process

Полученные данные элементного анализа, снятые в поле объектива, показывают, что доля углерода на поверхности концентрата после флотации заметно увеличивается (с 1,98 до 2,1–2,3 %), что свидетельствует о наличии на поверхности частиц минерала органических компонентов. Высокое количество углерода (2,1–2,3 %) обусловлено соотношением весовых масс исходной шеелитовой фракции и флотоконцентрата, и, тем не менее, может свидетельствовать о наличии его на поверхности.

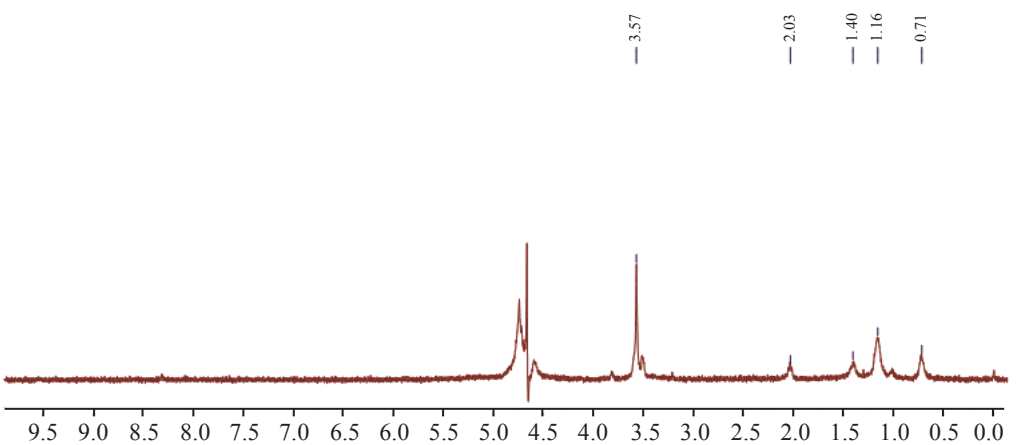
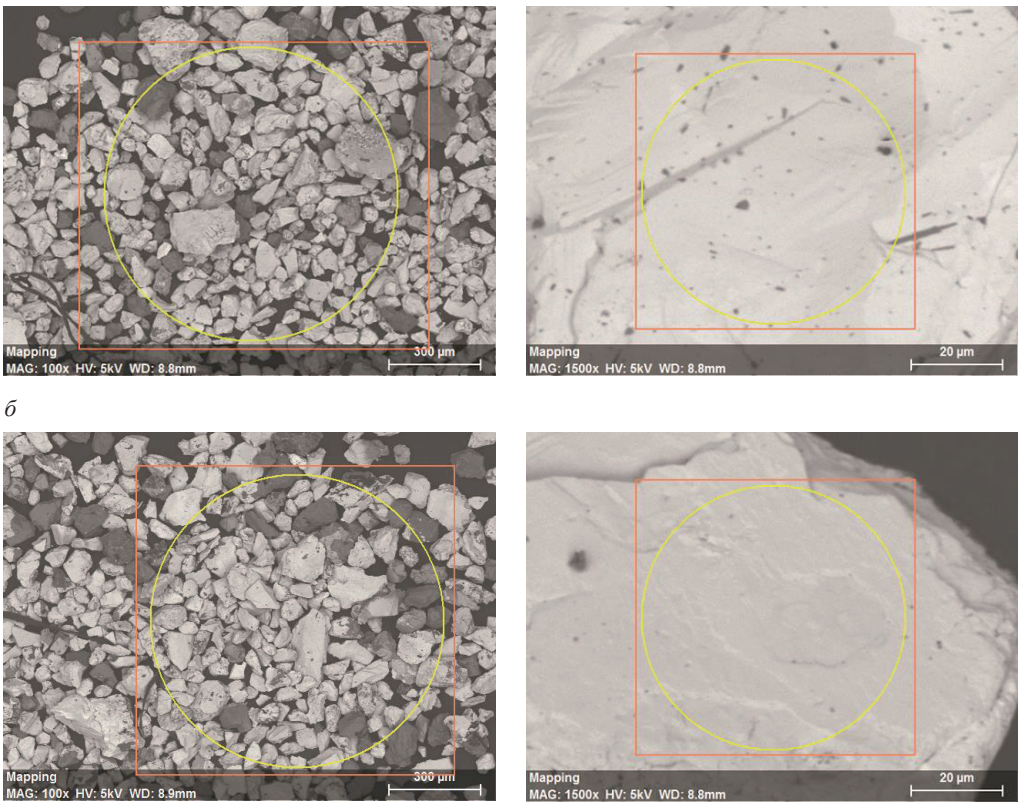


Рисунок 5. Спектр ядерного магнитного резонанса ^1H органической фракции, снятой с концентрата после пропарки
Figure 5. Nuclear magnetic resonance spectrum ^1H of the organic fraction removed from the concentrate after steaming

После проведения модельного опыта по флотации полученный концентрат с помощью электронного микроскопа был увеличен в 1500 раз (рис. 6). При сравнении поверхность шеелитовой фракции до модельного опыта и поверхность полученного концентрата после модельного опыта наблюдается

заметное изменение структуры поверхности частиц. Это изменение, вероятно, связано с образованием на поверхности гидрофобной пленки, содержащей полиненасыщенные кислоты таллового масла, которая, в свою очередь, способствует сглаживанию шероховатостей. Эти компоненты, вероятно, хемосорбционно закрепились на минеральной поверхности.

а



б

Рисунок 6. Шеелитовая фракция до модельного опыта – *а*; концентрат, полученный после модельного опыта – *б*

Figure 6. Scheelite fraction before the model experiment – *a*; concentrate obtained after the model experiment – *б*

Вывод. Комплексный анализ данных, полученных с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР), позволяет сделать вывод о том, что при применении классического процесса Петрова – пропарки чернового шеелитового концентрата в среде жидкого стекла при температуре 85–95 °С – активными компонентами таллового масла в условиях модельного эксперимента являются ненасыщенные жирные кислоты (полиненасыщенные). Смоляные кислоты практически не участвуют в сорбции, так как в спектрах детектируются их следовые количества (5 %). Данные ЯМР и электронной микроскопии свидетельствуют о том, что полиненасыщенные кислоты таллового масла, вероятно, закрепляются на поверхности шеелита за счет химических связей с образованием труднорастворимых комплексных соединений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плаксин И. Н. Задачи изыскания флотационных реагентов и исследования их взаимодействия с минералами // Вестник АН СССР. 1952. №. 8. С. 58–66.

2. Евдокимов А. Н., Курзин А. В., Трубникова А. А. Перспективы переработки и применения жирных и смоляных кислот таллового масла // Химия и химическая технология: достижения и перспективы. 2018. С. 213.1–213.3.

3. Владимирова Т. М. Применение парциальной конденсации для повышения качества талловых продуктов: дисс. … канд. техн. наук. Архангельск, 2006. 166 с.

4. Кессених А. В., Марколия А. А. Метод ядерного магнитного резонанса в Сухумском физико-техническом институте (1949–1959) // Вопросы истории естествознания и техники. 2018. Т. 39. № 1. С. 27–37. URL: https://vietmag.org/s0205-96060000616-4-1-ru-165/

5. Кессених А. В., Марколия А. А. Метод ЯМР и советский атомный проект // Аналитика. 2018. Т. 8. № 3(40). С. 286–289. DOI: 10.22184/2227-572X.2018.40.3.286.289

6. Патраков Ю. Ф., Семенова С. А. Сравнительный анализ эффективности флотореагентов различного происхождения в зависимости от их состава // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2020. Т. 7. № 2. С. 107–112.

7. Filippova I. V., Filippov L. O., Lafhaj Z., Barres O., Fornasiero D. Effect of calcium minerals reactivity on fatty acids adsorption and flotation // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018. Vol. 545. P. 157–166. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.02.059

8. Foucaud Y., Lainé J., Filippov L. O., Barres O., Kim W. J., Filippova I. V., Pastore M., Lebègue S., Badawi M.. Adsorption mechanisms of fatty acids on fluorite unraveled by infrared spectroscopy and firs-principles calculations // Journal of Colloid and Interface Science. 2021. Vol. 583(98). P. 692–703. DOI: 10.1016/j.jcis.2020.09.062

9. Foucaud Y. Tungsten recovery from a skarn with a low separation contrast: Contribution of molecular modelling in the flotation of calcium minerals: dissertation. Université de Lorraine, 2019. 322 p.

10. Kupka N., Rudolph M. Froth flotation of scheelite – A review // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. No. 3. P. 373–384. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.12.001

11. Yang X. Beneficiation studies of tungsten ores – A review // Minerals Engineering. 2018. Vol. 125. P. 111–119. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.06.001

12. Киенко Л. А., Саматова Л. А., Воронова О. В., Чуянов Г. Г. Проблемы флотации карбонатно-флюоритовых руд Вознесенского рудного района в условиях водооборота // Известия вузов. Горный журнал. 2010. № 8. С. 124–129.

13. 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: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-70-78

14. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. М.: Горная книга, 2016. 595 с.

15. Баландинский Д. А. Действие ионно-молекулярных ассоциатов молекул ПАВ на границах раздела фаз при прямой флотации апатит // Философия науки: сб. тр. конф., Санкт-Петербург, 16–19 мая 2022 года. СПб: СПГУ, 2022. С. 81–91.

16. Шепета Е. Д., Саматова Л. А. Повышение избирательного действия жидкого стекла в цикле селекции кальцийсодержащих минералов // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. 30 ноября–02 декабря 2015 года. Чита: Забайкальский государственный университет, 2015. С. 126–130.

Поступила в редакцию 16 октября 2023 года

Сведения об авторах:

Уразова Юлия Викторовна – младший научный сотрудник Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов. E-mail: urazova@irgiredmet.ru; https://orcid.org/0009-0005-1685-1154

Тиунов Михаил Юрьевич – старший научный сотрудник Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов. E-mail: tmu@irgiredmet.ru; https://orcid.org/0009-0008-6761-2534

Федотов Евгений Николаевич – младший научный сотрудник Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов. E-mail: fedotoven@irgiredmet.ru; https://orcid.org/0009-0000-5107-2539

Чикин Андрей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий, предпринимательства и методик их преподавания Иркутского государственного университета. E-mail: anchik53@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-1489-5581

DOI: 10.21440/0536-1028-2024-1-74-83

Studying the mechanism of fatty acid collectors interaction with the surface of calcium-containing tungsten minerals

Iuliia V. Urazova[1], Mikhail Iu. Tiunov[1], Evgenii N. Fedotov[1], Andrei Iu. Chikin[2]
[1] Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (Irgiredmet), Irkutsk, Russia.
[2] Irkutsk State University, Irkutsk, Russia.

Abstract

Introduction. *Studying the interaction of reagents with the mineral surface during flotation is essential for increasing the extraction of valuable components into the concentrate, improving the quality of concentrates, as well as for finding new reagents and ways of using them to improve the separation of minerals. This work investigates the mechanism of interaction between the active components of the collector (tall oil) reagents and the mineral surface of calcium-containing tungsten minerals.*

Methods of research *include the nuclear magnetic resonance (NMR). For reliable identification of individual components of the mixture, the spectra were recorded in a solution of deuterated chloroform (CDCl3), since it is in this solvent that the NMR spectra of individual compounds (resin, fatty acids and sterols) are presented in the database of organic compounds of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).*

Results and analysis. *The compositions of reagent varieties of tall oil collectors of various degrees of processing have been studied. From the tested reagents, one was selected on which a model flotation experiment was performed to determine the components interacting with the mineral surface. In addition to the fatty acid collector, reagents were also used in the experiment, in accordance with the reagent regime for the given ore, and concentrate steaming to recreate all the conditions of the process flow scheme of enrichment.*

Conclusion. *As a result, the active components of the fatty acid collector and the possible mechanism of their interaction with the surface of calcium-containing tungsten minerals were identified.*

Keywords: *tall oil; fatty acids; collector fixation; tungsten ores; nuclear magnetic resonance; NMR spectrum; model experiment; elemental analysis.*

REFERENCES

1. Plaksin I. N. The tasks of finding flotation reagents and studying their interaction with minerals. *Vestnik AN SSSR = Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR.* 1952; 8: 58–66. (In Russ.)

2. Evdokimov A. N., Kurzin A. V., Trubnikova A. A. Prospects of processing and applying fatty and resin acids of tall oil. In: *Chemistry and chemical technology: achievements and prospects: Proceedings of the 4th All-Russian Conf., 27–28 November, 2018, Kemerovo.* Kemerovo: 2018. p. 213.1–213.3. (In Russ.)

3. Vladimirova T. M. *Application of partial condensation to improve the quality of tall oil products: PhD in Eng. dis.* Arkhangelsk; 2006. (In Russ.)

4. Kessenikh A. V., Markoliia A. A. The method of nuclear magnetic resonance at the Sukhumi Physico-Technical Institute (1949–1959). *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki = Studies in the History of Science and Technology.* 2018; 1: 27–37. (In Russ.)

5. Kessenikh A. V., Markoliia A. A. The NMR method and the Soviet Atomic Project. *Analitika = Analytics.* 2018; 8; 3(40): 286–289. (In Russ.)

6. Patrakov Iu. F., Semenova S. A. Comparative analysis of the effectiveness of flotation reagents of different origin depending on their composition. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science.* 2020; 7(2): 107–112. (In Russ.)

7. Filippova I. V., Filippov L. O., Lafhaj Z., Barres O., Fornasiero D. Effect of calcium minerals reactivity on fatty acids adsorption and flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2018; 545: 157–166.

8. Foucaud Y., Lainé J., Filippov L. O. Adsorption mechanisms of fatty acids on fluorite unraveled by infrared spectroscopy and firs-principles calculations. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2021; 583: 692–703.

9. Foucaud Y. *Tungsten recovery from a skarn with a low separation contrast: Contribution of molecular modelling in the flotation of calcium minerals: dissertation.* Université de Lorraine, 2019.

10. Kupka N., Rudolph M. Froth flotation of scheelite – A review. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2018; 28(3): 373–384.

11. Yang X. Benefit studies of tungsten ore – A review. *Minerals Engineering.* 2018; 125: 111–119.

12. Kienko L. A., Samatova L. A., Voronova O. V., Chuianov G. G. The problems of carbonate–fluorite ores flotation at the Voznesensky ore district in the conditions of water reuse. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2010; 8: 124–129. (In Russ.)

13. Urazova Ju. V., Tiunov M. Ju., Chikin A. Ju. Flotation enrichment of tungsten ores in conditions of closed water circulation. *Vestnik Zabaikalskogo gosudarstvennogo universiteta = Transbaikal State University Journal (Bulletin of ZabGU).* 2023; 29(2): 70–78. (In Russ.)

14. Abramov A. A. *Flotation methods of enrichment*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2022. (In Russ.)

15. Balandinskii D. A. Action of ion-molecular associates of surfactant molecules at the interface of phases during direct flotation of apatite. In: *The philosophy of science: Scientific reviews.* St. Petersburg; 2022; 81–91. (In Russ.)

16. Shepeta E. D., Samatova L. A. Increasing the selective action of liquid glass in the cycle of selection of calcium-containing minerals. In: *Kulagin readings: techniques and technologies of production processes: Proceedings of the 15th Internat. Scient. pract. conf., 30 November – 02 December, 2015. Chita: ZabGU Publishing; 2015.* p. 126–130. (In Russ.)

Received 16 October 2023

Information about the authors:

Iuliia V. Urazova – junior researcher, Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (Irgiredmet). E-mail: urazova@irgiredmet.ru; https://orcid.org/0009-0005-1685-1154
Mikhail Iu. Tiunov – senior researcher, Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (Irgiredmet). E-mail: tmu@irgiredmet.ru; https://orcid.org/0009-0008-6761-2534
Evgenii N. Fedotov – junior researcher, Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (Irgiredmet). E-mail: fedotoven@irgiredmet.ru; https://orcid.org/0009-0000-5107-2539
Andrei Iu. Chikin – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technologies, Entrepreneurship, and Teaching Methods, Irkutsk State University. E-mail: anchik53@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-1489-5581

Для цитирования: Уразова Ю. В., Тиунов М. Ю., Федотов Е. Н., Чикин А. Ю. Изучение механизма взаимодействия жирнокислотных собирателей с поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов // Известия вузов. Горный журнал. 2024. № 1. С. 74–83. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-1-74-83
For citation: Urazova Iu. V., Tiunov M. Iu., Fedotov E. N., Chikin A. Iu. Studying the mechanism of fatty acid collectors interaction with the surface of calcium-containing tungsten minerals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2024; 1: 74–83 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2024-1-74-83