

## ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЯ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЕПРЕССОРОВ

Прохорова Е.О., Смирнов А.Ю., Александрова Т.Н.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,  
e-mail: s225074@stud.spmi.ru, s191198@stud.spmi.ru, Aleksandrova\_TN@pers.spmi.ru

Существующие методы обогащения минерального сырья, с учетом ухудшения качества исходного материала, поступающего на обогатительную фабрику, нуждаются в интенсификации. Процесс флотационного обогащения основан на различной смачиваемости минеральных фаз, что приводит к необходимости обеспечения селективного извлечения полезных компонентов и улучшения качества получаемой продукции необходимо понимание действия реагентов на поверхностные свойства. В работе рассматривается селективное действие реагентов-депрессоров с анализом изменения свободной поверхностной энергии и ее составляющих для избирательного подавления минералов пустой породы. Анализ результатов исследования показал, что пиррофосфат натрия оказал более селективное действие по отношению к минералам кварца и кальцита, чем на поверхностные свойства угля, с увеличением свободной поверхностной энергии на 37,78 мН/м и 13,19 мН/м, соответственно. Исследование влияния депрессоров на поверхностные свойства минеральных фаз позволяет обосновать возможность повышения качества концентрата путем направленного подавления пустой породы. При проведении флотационных опытов был получен концентрат с зольностью 6,32% при применении комбинации депрессоров пиррофосфата натрия и жидкого стекла; при этом содержание серы составило 0,279%.

**Ключевые слова:** краевой угол смачивания, свободная поверхностная энергия, депрессоры, смачиваемость, флотация

## ASSESSMENT OF SURFACE PROPERTIES OF COAL AND ROCK-FORMING MINERALS UNDER THE INFLUENCE OF DEPRESSORS

Prokhorova E.O., Smirnov A.Yu., Aleksandrova T.N.

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg,  
e-mail: s225074@stud.spmi.ru, s191198@stud.spmi.ru, Aleksandrova\_TN@pers.spmi.ru

The existing methods of mineral raw materials beneficiation, taking into account the deterioration of the quality of the source material entering the beneficiation plant, need to be intensified. The process of flotation enrichment is based on different wettability of mineral phases, which leads to the need to ensure selective extraction of useful components and improve the quality of the resulting products need to understand the action of reagents on the surface properties. The paper deals with the selective action of reagents-depressors with the analysis of changes in free surface energy and its components for selective suppression of waste rock minerals. Analysis of the results of the study showed that sodium pyrophosphate had a more selective effect on quartz and calcite minerals than on the surface properties of coal, with an increase in free surface energy of 37.78 mN/m and 13.19 mN/m, respectively. The study of the effect of depressors on the surface properties of mineral phases allows us to substantiate the possibility of improving the quality of concentrate by directed suppression of waste rock. In flotation experiments, a concentrate with an ash content of 6.32% was obtained using a combination of sodium pyrophosphate and liquid glass depressors; the sulfur content was 0.279%.

**Keywords:** contact angle, surface free energy, depressors, wettability, flotation

Повсеместное снижение минеральных ресурсов в земной коре [1] и их рациональное использование ведет к необходимости разработки и вовлечения в переработку новых месторождений, введение новых операций и совершенствование методов обогащения минерального сырья, что также отражается в разработке новых подходов в области управления минеральными ресурсами со стороны государства [2]. Уголь, как твердое горючее полезное ископаемое, имеет важное значение в мировой промышленности. Его доля в производстве пер-

вичных энергоресурсов в мире и внутреннего потребления энергоресурсов в мире в 2022 году составили 31,51% и 26,73% [3]. Ряд стран стремится сократить его производство и потребление, ввиду возможного изменения глобальной температуры от выбросов углерода при потреблении энергоресурсов [4, 5] и загрязнении почв в районах добычи угольной продукции [6], однако мировой спрос на данную продукцию растет за счет развивающихся стран. Также, добыча и переработка угольной продукции трудоемким и опасным процессом.

В настоящее время ведутся исследования по совершенствованию технологических решений выработки угольных пластов [7, 8], что влияет на дальнейшую переработку данного вида сырья, что предопределяет необходимость развития новых технологических решений.

К современным способам повышения технологических параметров процессов обогащения относятся:

- применение физико-энергетического воздействия, в том числе:

- а) применение температурных воздействий [9, 10, 11];

- б) применение наносекундных импульсов [12, 13].

- химическое направленное воздействие, посредством регулирования процесса за счет добавления селективно действующих реагентов:

- а) собирателей как реагентов, увеличивающих гидрофобные свойства минералов и уменьшающих смачиваемость минералов водой [14-16];

- б) депрессоров, увеличивающих гидрофильные свойства и смачиваемость материала [17-19]. Существует широкий спектр применяемых реагентов для депрессии минералов пустой породы: органические депрессоры, жидкое стекло, пирофосфат натрия.

- применение комбинированных процессов:

- а) объединение флотационного процесса обогащения и гравитационного [20-22];

- б) применение флотационного процесса с выделением дополнительного магнитного продукта или очистка, при необходимости, концентратов от примесей, содержащих магнитный материал;

- с) объединение методов обогащения с химическими методами переработки [23].

Ввиду того, что большинство процессов переработки угольной продукции являются мокрыми, оценка смачиваемости и изменение свободной поверхностной энергии (СПЭ) при применении реагентов имеет большое значение для прогнозирования процесса и оценки результата их воздействия на поверхность. Свободная поверхностная энергия вычисляется исходя из измерений краевого угла смачивания и позволяет количественно оценить воздействие реагента на минеральную поверхность. На получаемые значения краевого угла могут оказывать влияние разные характеристики материала: размер и форма частиц, а также их морфология [24-26]. В работах [27, 28] выявлено влияние направления кри-

сталла и порядка плотности разорванных связей на краевой угол и гидрофильные свойства кальцита.

Если при разрушении кристалла рвутся сильные полярные связи (ионная, ковалентная, металлическая и другие формы атомных связей), то энергия взаимодействия поверхности с полярными молекулами воды будет велика (и значение – мало) и они будут притягиваться к поверхности твердого тела, хорошо смачивать ее и поверхность станет гидрофильной. Если же при разрушении кристалла разрываются слабые связи (молекулярные, водородные), то образующаяся неполярная поверхность будет слабее притягивать дипольные молекулы воды и сильнее взаимодействовать с воздухом, т.е. поверхность станет гидрофобной. Сила взаимодействия поверхностей минералов с молекулами или ионами окружающей среды будет зависеть не только от характера, но и от числа разрушаемых при измельчении минералов связей, а также от положения атомов или ионов на поверхности минерала.

Модификация поверхностных свойств минералов с помощью применения различных реагентов позволяет улучшать селективность разделения полезного компонента от минералов пустой породы. На селективность разделения имеет сильное влияние разрушение минералов [29], так как лучшее раскрытие сростков приводит к получению более чистых продуктов обогащения с увеличением показателей обогащения. Добиться селективного разделения минералов при флотации поможет помочь применение контроля электрохимических процессов [30], которые помогают оптимизировать подачу реагентов во флотационный процесс. Анализ поведения реагентов дает возможность улучшать технологические параметры обогащения [31], уменьшая извлечение минералов пустой породы и зольность в концентрате.

Таким образом, целью исследования является обоснование возможности направленного регулирования поверхностных свойств угля и минералов пустой породы для эффективной флотации углей.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран уголь марки Д, Кузнецкого угольного бассейна. Для проведения дифрактометрического анализа проба была предварительно истерта до класса крупности -20 мкм, после чего проводился анализ

пробы массой 700 мг, спрессованной в виде таблетки, на дифрактометре фирмы «Shimadzu». Оценка зольности и влажности производилась с помощью муфельной печи фирмы «Тула-Терм» по ГОСТ Р 55661-2013. По результатам дифрактометрического анализа основными порообразующими минералами, составляющими зольную часть, являются кварц и кальцит. Зольность и влажность данного угля составляет 25,2% и 12,5%, соответственно.

Для оценки смачиваемости материала и анализа воздействия реагентов на поверхность было использовано измерение свободной поверхностной энергии с помощью метода ОВРК (Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле) с применением замера краевого угла смачивания двух жидкостей, диiodометана и дистиллированной воды, с определением полярной и дисперсионной составляющих энергии поверхности [32, 33]. Численные значения дисперсионной и полярной составляющих получают в результате построения графика или при решении системы двух уравнений [34, 35]. Исследования проводились с применением реагентов-депрессоров: пирофосфата натрия, карбоксиметил целлюлозы (КМЦ), жидкого стекла, органического депрессора группы полисахаридов и карбоксиметил крахмала (КМК). Образец материала помещали в приготовленный из 1%-го раствора реагента с расходом 100 г/т. Образец вымачивали в течение 5 минут, после чего убирали излишек влаги с помощью фильтровальной бумаги и про-

водили измерения. Опыты флотационного обогащения угля проводили на флотомашине Laarmann Flotation Bench Test Machine.

### Результаты исследования и их обсуждение

Уголь является естественно гидрофобным материалом, ввиду этого, необходимо изучить депрессоры для эффективного подавления минералов пустой породы в процессе флотации. Необходимо понимать влияние данных реагентов на свободную поверхностную энергию порообразующих минералов для подбора наиболее селективно действующего депрессора, предварительно оценив изменение свободной поверхностной энергии на угле при применении реагентов. Для обоснования возможности направленного регулирования поверхностными свойствами были проведены замеры краевого угла смачивания угля и минералов пустой породы с последующим вычислением свободной поверхностной энергии (рис. 1, 2).

Анализ полученных данных, представленных на рисунке 1, свидетельствует о наименьшем влиянии на поверхность угля таких депрессоров, как пирофосфат натрия, КМЦ и жидкое стекло. Органический депрессор группы полисахаридов и КМК значительно увеличили свободную поверхностную энергию на 6,1 мН/м и 13,07 мН/м, как следствие, и смачиваемость. Механизм влияния реагентов-депрессоров на поверхностные свойства минералов изучен недостаточно полно.

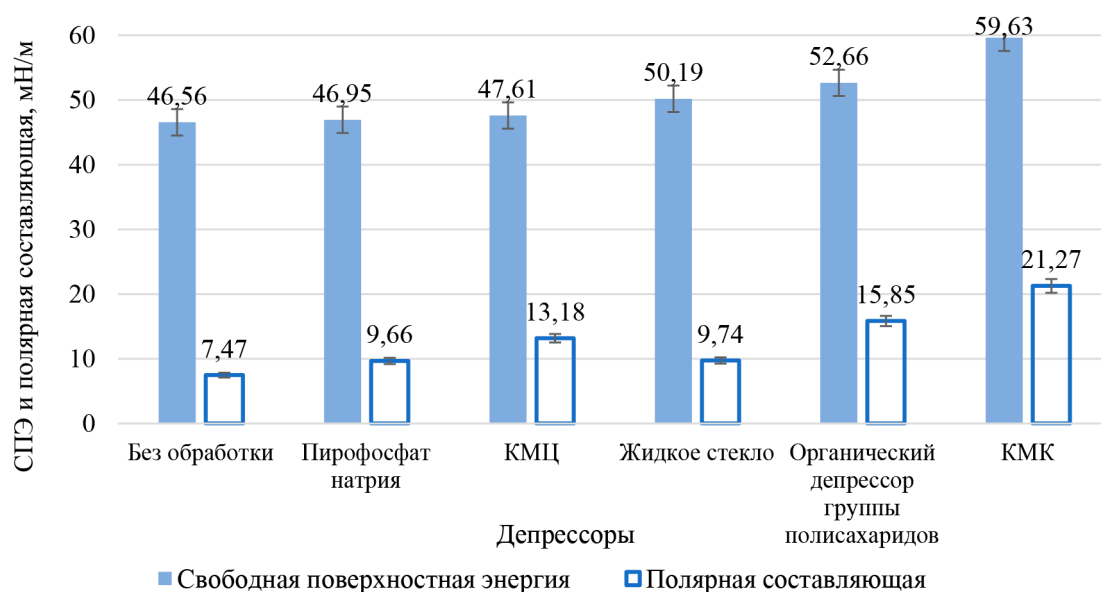


Рис. 1. Результаты исследования применения реагентов-депрессоров на поверхностные свойства угля

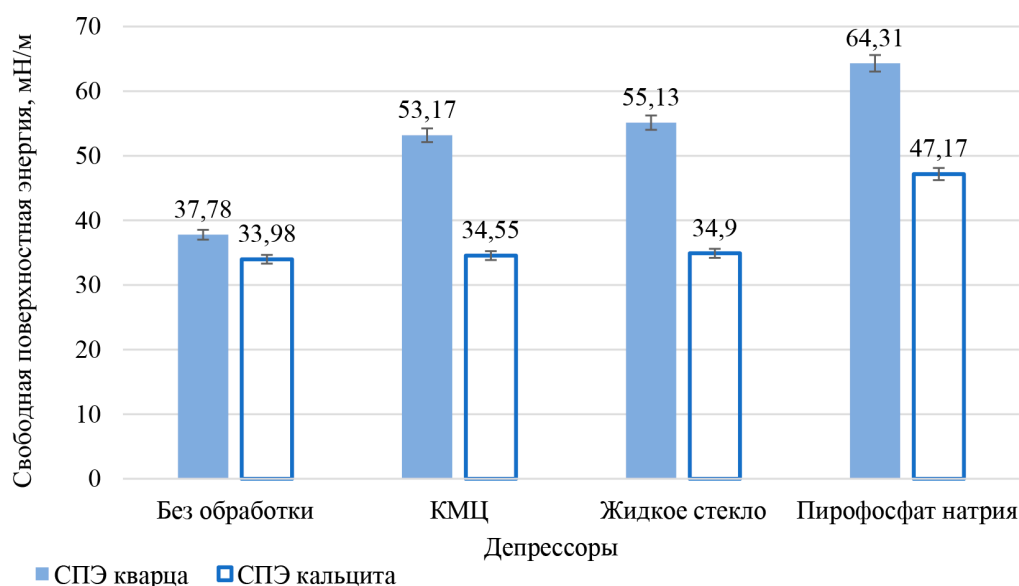


Рис. 2. Результаты исследования применения реагентов-депрессоров на поверхностные свойства минералов пустой породы

Результаты исследования применения реагентов-депрессоров при флотации (A<sup>d</sup> – зольность угля, %)

Реагент	Содержание в концентрате, %				Извлечение в концентрат, %			
	A <sup>d</sup>	S	SiO <sub>2</sub>	CaO	A <sup>d</sup>	S	SiO <sub>2</sub>	CaO
Жидкое стекло	7,31	0,302	5,10	0,43	9,54	18,07	8,98	5,02
Пирофосфат натрия	7,08	0,299	4,89	0,38	9,12	17,66	8,50	4,38
Жидкое стекло + пирофосфат натрия	6,32	0,279	4,36	0,31	8,06	16,31	7,50	3,54

В настоящее время ведутся исследования по обоснованию поведения данных реагентов на поверхности минералов. Известно, что жидкое стекло может иметь одновременно три механизма действия: вытеснение ионов собирателя, закрепление силикатных ионов и налипание гидрофильных коллоидных частиц на поверхности. В качестве депрессоров при селективной флотации используется широкий спектр органических макромолекул (полимерных соединений), имеющих самую разную структуру и функциональность. Механизмы действия различаются для разных классов минералов и в зависимости от молекулярной структуры полимера. В результате воздействия, если данный реагент может влиять на поверхность, повышается смачиваемость минералов с повышением свободной поверхностной энергии за счет повышения обеих составляющих. Стоит отметить, что для угля получено увеличение свободной

поверхностной энергии при одновременном увеличении полярной составляющей, т.е. увеличение количества нескомпенсированных связей, что позволяет установить повышение гидрофильных свойств минерала. Однако некоторые депрессоры влияют незначительно, что позволило выбрать депрессоры для исследований поверхностных свойств минералов пустой породы: пирофосфат натрия, КМЦ и жидкое стекло.

Анализ полученных результатов, представленных на рисунке 2, показал, что наиболее селективным депрессором по отношению к кварцу и кальциту является пирофосфат натрия, который увеличит свободную поверхностную энергию на 26,53 мН/м и 13,19 мН/м, соответственно. Жидкое стекло и КМЦ оказали сильное воздействие на поверхностные свойства кварца, имеющих самое высокое содержание из присутствующих минералов в данном сырье по результатам дифрактометрического анализа.

Стоит отметить, что жидкое стекло является эффективным депрессором минералов пустой работы, что согласуется с результатами, представленными в работе [36, 11]. Силикат натрия (жидкое стекло) является наиболее распространенным депрессором во флотационных схемах, однако к нему добавляются другие депрессоры для улучшения эффекта и селективности действия. Ввиду этого, исследования флотационного обогащения проводились с применением комбинации депрессоров из жидкого стекла и пирофосфата натрия (таблица).

Интерпретация результатов, представленных в таблице, свидетельствует об улучшении качества получаемого угольного концентрата за счет снижения зольности и уменьшения извлечения минералов пустой породы в концентрат. Стоит отметить, что применение пирофосфата натрия помогает также снизить содержание и извлечение серы в получаемом концентрате.

### Заключение

Для улучшения технологических показателей обогащения и качества получаемой продукции прибегают к различным подходам: применение физико-энергетических воздействий, применение комбинированных процессов и использование химических реагентов для направленного регулирования поверхностными свойствами. Существует широкий спектр депрессоров для подавления различных минералов. Однако существует незначительное количество способов оценки влияния поверхностных свойств, позволяющих понять действие различных реагентов к конкретному минералу. Для исследования поверхностных свойств были выбраны депрессоры пустой породы: пирофосфат натрия, КМК, КМЦ, органический депрессор группы полисахаридов и жидкое стекло.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать выбор депрессоров для эффективного подавления минералов пустой породы при флотации угля. Отмечается возможность селективного воздействия депрессоров пирофосфата натрия и жидкого стекла с увеличением свободной поверхностной энергии на 26,53 мН/м и 17,35 мН/м для кварца и на 13,19 мН/м и 0,92 мН/м для кальцита. Анализ результатов флотационного исследования комбинации данных депрессоров показал возможность эффективного их применения при переработке угля для получения концентратов высокого качества.

### Список литературы

1. Ponomarenko T., Nevskaya M., Jonek-Kowalska I. Mineral resource depletion assessment: Alternatives, problems, results // Sustainability. 2021. Vol. 13, No. 2. Article 862. DOI: 10.3390/su13020862.
2. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // Записки горного института. 2023. Т. 259. С. 95-111. DOI: 10.31897/PMI.2022.100.
3. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики // Уголь. 2024. № 3. С. 44-51. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-44-51.
4. Новоселов С.В., Ремезов А.В. Мировая динамика выбросов углерода от энергетики за период 2012-2022 гг., тенденции изменения глобальной температуры и потенциальная возможность достижения углеродной нейтральности странами-лидерами по Парижскому соглашению по климату к 2050 году // Уголь. 2024. № 3. С. 97-103. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-97-103.
5. Непша Ф.С., Варнавский К.А., Воронин В.А., Заславский И.С., Ливен А.С. Перспективы применения генерации на возобновляемых источниках энергии на угледобывающих предприятиях // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 455-469.
6. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Блинов С.М., Перевощикова А.А. Эффективность рекультивации кислых сульфатных почв в районах угледобычи // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 266-278. DOI: 10.31897/PMI.2023.31.
7. Сидоренко А.А., Дмитриев П.Н., Алексеев В.Ю., Сидоренко С.А. Совершенствование технологических схем отработки склонных к самовозгоранию пластов угля, опасных по горным ударам // Записки Горного института. 2023. Т. 264. С. 949-961.
8. Казанин О.И., Сидоренко А.А., Евсюкова А.А., Лю Цзылу. Обоснование технологий поддержания выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов на больших глубинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9-1. С. 5-21. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_91\_0\_5.
9. Афанасова А.В., Абурова В.А. Укрупнение низкоразмерных благородных металлов из углеродистых материалов с применением микроволновой обработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 1. С. 20-35. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_20.
10. Cao S., Yin W., Yang B., Zhu Zh., Sun H., Sheng Q., Chen K. Insights into the influence of temperature on the adsorption behavior of sodium oleate and its response to flotation of quartz // International Journal of Mining Science and Technology. 2022. Т. 32, № 2. С. 399-409. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.12.006.
11. Александрова Т.Н., Прохорова Е.О. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12. С. 123-138. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_12\_0\_123.
12. Чантурия В. А., Бунин И.Ж., Рязанцева М.В., Чантурия Е.Л., Копорулина Е.В., Хабарова И.А., Анашкина Н.Е. Влияние наносекундных импульсов высокого напряжения на физико-химические и технологические свойства минералов редких металлов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2018. Т. 82, № 7. С. 872-877. DOI: 10.1134/S036767651807013X.
13. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Рязанцева М.В., Чантурия Е.Л., Копорулина Е.В., Анашкина Н.Е. О механизме изменения структурного состояния поверхности и физико-химических свойств колумбита и эвдиалита при воздействии низкотемпературной плазмы // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Т. 84, № 9. С. 1341-1345. DOI: 10.31857/S0367676520090100.

14. Liu Z., Liao Yi., Wang Y., An M., Lai Q. Enhancing low-rank coal flotation using a mixture of dodecane and n-valeric acid as a collector // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 2019. DOI: 10.1080/19392699.2019.1579202.
15. An M., Liao Y., Cao Y., Hao X., Ma L. Improving low rank coal flotation using a mixture of oleic acid and dodecane as collector: A new perspective on synergetic effect // *Processes*. 2021. Т. 9, № 3. DOI: 10.3390/pr9030404.
16. Li H., He T., Wan H., exin Han Yu., Guo Yu., Jin J. Insights into selection of the auxiliary collector and its applicability analysis for improving molybdenite flotation // *Minerals*. 2021. Т. 11, № 5. DOI: 10.3390/min11050528.
17. Chen Y., Feng B., Yan H., Zhang L., Zhong Ch., Wang T., Wang H., Xu L. Adsorption and depression mechanism of an eco-friendly depressant dextrin onto fluorite and calcite for the efficiency flotation separation // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. Т. 635. С. 127987. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.127987.
18. Whitworth A.J., Forbes E., Verster I., Jokovic V., Awathey B., Parbhakar-Fox A. Review on advances in mineral processing technologies suitable for critical metal recovery from mining and processing wastes // *Cleaner Engineering and Technology*. 2022. Т. 7. С. 100451. DOI: 10.1016/j.clet.2022.100451.
19. Mehdi A., Irannajad M. Surface modification of ilmenite and its accompanied gangue minerals by thermal pretreatment: Application in flotation process // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2021. Т. 31, № 9. DOI: 10.1016/S1003-6326(21)65697-2.
20. Дьяков В.Е. Центробежный аппарат для флотогравитации // Патент № 2501609 (РФ). Заявл. 28.08.2012. № 2012136771/03. Опубл. 20.12.2013. Бюлл. № 35.
21. Упорова И. В., Интогарова Т. И. Исследование процесса флотогравитации окисленных железосодержащих хвостов обогащения с обогащением пенного продукта в сужающемся желобе // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 11-1. С. 210-218. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_111\_0\_210.
22. Александрова Т.Н., Кусков В.Б., Прохорова Е.О. Способ обогащения угля // Патент № 2812378 (РФ). Заявл. 27.07.2023. 2023119782. Опубл. 30.01.2024. Бюлл. № 4.
23. Mehdi A., Irannajad M. Surface modification of ilmenite and its accompanied gangue minerals by thermal pretreatment: Application in flotation process // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2021. Т. 31, № 9. С. 2836-2851. DOI: 10.1016/S1003-6326(21)65697-2.
24. Agorhom E.A., Skinner W., Zanin M. Influence of gold mineralogy on its flotation recovery in a porphyry copper-gold ore // *Chemical Engineering Science*. 2013. Т. 99. P. 127-138. DOI: 10.1016/j.ces.2013.05.037.
25. Подолян Е.И., Котова И.К., Шелухина Ю.С., Бороздин А.П. Типы руд золотосеребряных месторождений вулканоплутонических комплексов складчатых поясов и методологические аспекты их выделения // *Обогащение руд*. 2022. № 1. С. 31-40. DOI: 10.17580/or.2022.01.06.
26. Sygusch J., Rudolph M. A contribution to wettability and wetting characterisation of ultrafine particles with varying shape and degree of hydrophobization // *Applied Surface Science*. 2021. Т. 566. С. 150725. DOI: 10.1016/j.apsusc.2021.150725.
27. Emer C., Bournival G., Jameson G.J., Ata S., The use of esterification to create hydrophobic quartz particles for flotation // *International Mineral Processing Congress Santiago, Chile*. 2014.
28. Hunter T.N., Wanless E.J., Jameson G.J. Effect of esterically bonded agents on the monolayer structure and foamability of nano-silica // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2009. Т. 334. №. 1-3. С. 181-190. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2008.10.039.
29. Николаева Н.В., Каллаев И.Т. Особенности процесса измельчения медно-молибденовых руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 1. С. 52-66. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_52.
30. Яковлева Т.А., Ромашев А.О., Машевский Г.Н. Оптимизация дозирования флотационных реагентов при флотации руд цветных металлов с применением цифровых технологий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6-2. С. 175-188. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_175.
31. Кондратьев С.А., Хамзина Т.А. Повышение качества концентрата во флотационном обогащении низкосортного угля // *Записки Горного института*. 2024. № 265. С. 65-77.
32. Данилов В.Е., Королев Е.В., Айзенштадт А.М., Строкова В.В. Особенности расчета свободной энергии поверхности на основе модели межфазного взаимодействия Оунса-Вендта-Рабеля-Кьельбле // *Строительные материалы*. 2019. № 11. С. 66-72. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-776-11-66-72.
33. Deng Y., Xu L., Lu H., Wang H., Shi Yo. Direct measurement of the contact angle of water droplet on quartz in a reservoir rock with atomic force microscopy // *Chemical Engineering Science*. 2018. Т. 177. С. 445-454. DOI: 10.1016/j.ces.2017.12.002.
34. Shi Q., Feng Q., Zhang G., Deng H. A novel method to improve depressants actions on calcite flotation // *Minerals Engineering*. 2014. № 55. P. 186-189. DOI: 10.1016/j.mineng.2013.10.010.
35. Кузнецов В.В., Александрова Т.Н. Разработка методов определения флотируемости минералов для эффективного проектирования технологии флотации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 10-1. С. 145-154. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_101\_0\_145.
36. Афанасова А.В., Абурова В.А., Прохорова Е.О., Лушина Е.А. Исследование влияния депрессоров на флотоактивные породообразующие минералы при флотации сульфидных золотосодержащих руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6-2. С. 161-174. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_161.