

УДК 622.765

DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-23-30

ПРИМЕНЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ-МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ ГАЗОВЫХ УГЛЕЙ**APPLICATION OF INORGANIC REAGENTS-MODIFIERS FOR THE EXTRACTION OF SULPHUR-CONTAINING IMPURITIES IN THE FLOTATION OF GAS COALS****Н. Л. Медяник,**

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
medyanikmagnitka@mail.ru

N. Medyanik,

Magnitogorsk State Technical University
named after G. I. Nosov, Magnitogorsk

**Э. Р. Муллина,**

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
e.mullina@inbox.ru

E. Mullina,

Magnitogorsk State Technical University
named after G. I. Nosov, Magnitogorsk

**О. А. Мишурина,**

Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
olegro74@mail.ru

O. Mishurina,

Magnitogorsk State Technical University
named after G. I. Nosov, Magnitogorsk

Применение неорганических реагентов-модификаторов для извлечения серосодержащих примесей при флотации газовых углей в современных условиях является важной процедурой.

Актуальность исследований заключается в необходимости удаления серосодержащих соединений из угольного сырья при наименьших затратах для снижения экологической нагрузки в районах углепользования.

Объектом исследования являются угли марки «Г» Кузнецкого бассейна шахты им. Кирова.

Предмет исследования – петрографический и химический состав углей, содержание примесей серы.

Цель исследования – разработка селективных реагентных режимов флотации с использованием неорганических реагентов – модификаторов.

Задачи исследования:

- определить петрографический и химический состав углей;
- провести флотационные исследования;
- оценить влияние неорганических реагентов-модификаторов на ϕ -потенциал и гидратированность поверхности пирита;
- определить механизм действия модификаторов на депрессию серосодержащих примесей углей.

Методология и методы исследования. В работе использовался комплекс физических, химических и физико-химических методов исследования.

Степень научной разработанности темы. Перспективным направлением снижения серосодержащих выбросов является повышение селективности процесса флотации за счет модифицирования угольной поверхности.

Результаты: петрографический анализ исследуемых углей показал, что основным микрокомпонентом является витринит (85 %). Химический анализ свидетельствует, что влажность углей составляет 2,27 %, зольность – 17,82 %, выход летучих веществ – 32,90 %, массовая доля неорганической серы – 0,38 %, органической серы – 0,43 %. Сравнительный анализ качественно-количественных показателей флотации углей показывает, что применение неорганических реагентов-модификаторов позволяет существенно повысить извлечение серы в отходы флотации. Анализ кинетики изменения электродного потенциала пирита свидетельствует об увеличении значений потенциала в присутствии данных реагентов и сниже-

нии гидратированности поверхности пирита. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования неорганических солей в качестве реагентов – модификаторов, способствующих снижению содержания серы в угольных концентратах за счет депрессии пиритсодержащих примесей, обусловленной повышением гидратированности их поверхности

Ключевые слова: газовые угли; флотация; реагенты-модификаторы; депрессирующее действие; микрокомпоненты; электродный потенциал; краевой угол смачивания; аквакомплексы; гидратированность; неорганические реагенты

The relevance of the research lies in the need to remove sulphur-containing compounds from coal raw materials at the lowest cost to reduce the environmental load in the areas of coal use.

The object of the study is coals of the “G” brand of the Kuznetsk basin of the Kirov mine.

The subject of the study is the petrographic and chemical composition of coals, the content of sulphur impurities.

The aim of the study is to develop selective reagent flotation modes using inorganic reagents-modifiers.

Research objectives:

- to determine the petrographic and chemical composition of coals;
- to conduct flotation studies using the foam flotation method;
- to evaluate the effect of inorganic reagents-modifiers on the ϕ - potential and hydration of the coal surface;
- to determine the mechanism of modifiers’ action on the depression of sulphur-containing impurities of coals.

Methodology and methods of research. A complex of physical, chemical and physico-chemical research methods has been used in the work.

The degree of scientific development of the topic. A promising direction for reducing sulphur-containing emissions is to increase the selectivity of the flotation process by modifying the coal surface.

Results: petrographic analysis of the studied coals has showed that the main micro-component is vitrinite (85 %); chemical analysis indicates that the humidity of the coals is 2.27 %, the ash content is 17.82 %, the yield of volatile substances is 32.90 %, the mass fraction of inorganic sulphur is 0.38 %, organic sulphur is 0.43 %. A comparative analysis of qualitative and quantitative indicators of coal flotation shows that the use of non-organic reagents-modifiers can significantly increase the extraction of sulfur into flotation waste. The analysis of the kinetics of changes in the electrode potential of pyrite indicates an increase in the potential values in the presence of these reagents and a decrease in the hydration of the pyrite surface. The obtained results indicate the expediency of using inorganic salts as modifier reagents that contribute to reducing the sulfur content in coal concentrates due to the depression of pyrite-containing impurities due to an increase in the hydration of their surface

Key words: gas coals; flotation; modifier reagents; depressing effect; micro-components; electrode potential; wetting edge angle; aquacomplexes; hydration; inorganic reagents

Введение. В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем промышленных регионов России является снижение количества промышленных выбросов в атмосферу, оказывающих вредное воздействие как на биосферу, так и на здоровье человека. Ведущее место по негативному воздействию на окружающую среду среди отраслей топливно-энергетического комплекса занимает угольная промышленность. Это обусловлено не только значительным объемом добычи и потребления углей с высоким содержанием влаги, золы и серы, но и несовершенством существующих на данный момент технологий [1; 10].

Экологические исследования показывают, что в настоящее время количество выбросов серы превышает возможность их

природной нейтрализации, при этом самая значительная часть эмиссии серы в атмосферу обусловлена сжиганием органического серосодержащего топлива. В связи с этим технологии обессеривания угольного сырья на стадиях, предшествующих их термической переработке, в последние годы приобретают актуальное значение [3; 4]. Это обусловлено еще и тем, что кокс, полученный из высокосернистых углей, обладает не только меньшей теплотой сгорания, но и снижает качество металлов [5; 9]. Перевод доменных печей на качественные угольные концентраты позволит не только в два раза увеличить производительность, но и снизить выход шлака при плавке [11].

В связи с этим, удаление соединений серы из углей является актуальной задачей

углеперерабатывающих предприятий, рациональным решением которой является разработка селективных флотационных режимов, позволяющих снизить содержание серы в угольных концентратах за счет использования модифицирующих добавок [6; 8].

Актуальность исследований заключается в необходимости удаления серосодержащих соединений из угольного сырья при наименьших затратах для снижения экологической нагрузки в районах углепользования.

Объект исследования – угли марки «Г» Кузнецкого бассейна шахты им. Кирова.

Предмет исследования – петрографический и химический состав углей, содержание примесей серы.

Цель исследования – разработать селективные реагенты режимов флотации с использованием неорганических реагентов – модификаторов.

Задачами исследования являются:

- 1) определить петрографический и химический состав углей;
- 2) сделать химический анализ минеральной части углей;
- 3) провести флотационные исследования;
- 4) оценить влияние неорганических реагентов-модификаторов на φ -потенциал и гидратированность поверхности пирита;
- 5) определить механизм действия модификаторов на депрессию серосодержащих примесей углей.

Методология и методы исследования. В работе использовался комплекс физических, химических и физико-химических методов исследования, позволяющих выявить механизм взаимодействия реагентов с поверхностью углей. При определении петрографического и химического состава углей и минеральных примесей использовались стандартные методики. Флотационные исследования проводились методом пенной флотации на лабораторной флотационной машине конструкции «Механобр» с объемом камеры 0,5 дм³ при расходе реагента ВКП (кубового остатка ректификации продуктов синтеза 2-этилгексанола по методу оксосинтеза) 0,990 кг/т; реагентов-модификаторов 0,030...0,200 кг/т. Кинетика изменения φ -потенциала определялась на универсальном иономере ЭВ-74 по величине потенциала электрода, полученного выделением пирита из газовых углей.

Степень научной разработанности темы. В настоящее время для снижения содержания серы в углях применяют магнитный, электрический, гравитационный и флотационный методы, а также бактериальное выщелачивание и химическую обработку.

Результаты, полученные в работе [13], подтверждают потенциал кучного биологического выщелачивания в качестве жизнеспособной стратегии десульфуризации отходов угля с высоким содержанием серы. Окислители железа катализируют регенерацию выщелачивающего агента Fe²⁺ из его формы Fe²⁺, а окисляющие серу микроорганизмы производят серную кислоту из элементарной серы и сульфидов. Они создают высококислотные условия, которые поддерживают дальнейшее окисление Fe²⁺ до Fe³⁺ и продолжающееся окисление и выщелачивание пирита. Полученные результаты показали более чем 50 %-ную десульфурацию за 250 дней.

Применение для десульфуризации кислоты / щелочи также позволяет эффективно уменьшать содержание серы в угле [15]. Однако этот метод позволяет удалить только часть неорганической серы и небольшую часть органической серы и требует высокотемпературной обработки, при этом происходит разрушение структуры угля, поэтому применение очищенного угля будет ограничено.

Использование мягкого окислителя (H₂O₂) не вызывает значительных изменений органической структуры угля и может предотвратить осаждение нежелательных химических веществ на поверхности частиц [14]. Помимо этого, применение механохимической активации может способствовать превращению органической серы в неорганическую за счет снижения прочности связи CS и ускорения окисления тиофена и сульфида, что повышает удаление органической серы.

Использование комбинированных методов позволяет добиться существенного снижения серы в углях. Так, в работе [12] уголь с высоким содержанием серы обрабатывали четырьмя различными методами, включая флотацию, кислотное выщелачивание HCl-HF, кислотное выщелачивание HCl-HF-HNO₃ и ультразвуковое облучение. Анализ результатов показал, что ступенчатая обработка в соответствии с порядком флотация – HCl-HF-HNO₃ – ультразвуковая обработка позволили добиться максимального удаления серы из необработанного угля.

Проведенный анализ источников свидетельствует о том, что перспективным направлением снижения серосодержащих примесей в углях является повышение селективности флотационного процесса за счет модифицирования угольной поверхности.

Результаты исследования и их обсуждение. Для установления петрографического и

химического состава углей использовались стандартные методики. В исследуемых газовых углях при петрографическом анализе (ГОСТ 9414-74) обнаружены следующие микрокомпоненты: витринит (85 %), семивитринит (6 %), лейптинит (5 %), фюзинит (4 %).

Данные химического анализа углей представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Результаты химического анализа углей, % / Results of chemical analysis of coals, %

Зольность A ^c / Ash Content, Ac	Влажность W / Humidity, W	Выход летучих V / Volatile yield V	Массовая доля серы / Mass fraction of sulphur		Массовая доля в условной органической массе / Mass fraction in the conditional organic mass				
			неорганической / inorganic	органической / organic	C	H	N	O	S _{opr} / S _{org}
17,82	2,27	32,90	0,38	0,43	81,84	5,87	3,15	8,75	0,39

Анализ химического состава минеральной части углей (ГОСТ 10538-87) показывает, что основными компонентами золы исследуемых углей являются оксиды кремния, алюминия, железа и серы (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Результаты качественно-количественного определения состава золы углей / Results of qualitative and quantitative determination of the coal ash composition

Массовая доля определяемых компонентов / Mass fraction of defined components										
SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	B ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂
7,78	6,48	24,38	2,09	6,80	2,40	0,34	0,042	0,84	48,17	0,68

Наличие в исследуемых углях широкого спектра химических соединений обуславливает значительную энергетическую неоднородность угольной поверхности, что в существенной степени определяет характер взаимодействия с флотационными реагентами.

Анализ качественно-количественных показателей флотации позволяет утверждать, что применение сульфатов магния, алюминия и железа в качестве реагентов-модификаторов дает возможность не только увеличить выход концентрата, но и существенно повысить извлечение серы в отходы флотации (табл. 3).

Анализ данных табл. 3 позволяет расположить исследуемые соединения по увеличению извлечения серы в отходы флотации в следующий ряд: Al₂(SO₄)₃ < Fe₂(SO₄)₃ < MgSO₄.

При этом наибольшим депрессирующим действием обладает сульфат магния – извлечение пиритной серы в отходы флотации увеличивается в среднем на 10 % по сравнению с индивидуальным применением ВКП.

Эффективность обессеривания углей при флотации в значительной степени зависит от энергетического состояния поверхности пирита, определяемого наличием локально сконцентрированных положительных и отрицательных зарядов, обуславливающих высокое значение потенциала (108 мВ). Около точки нулевого заряда поверхность более гидрофобна, следовательно, способна активно адсорбировать реагенты. Соответственно, изменяя заряд поверхности пирита, можно регулировать адсорбционные процессы, протекающие при флотации [7].

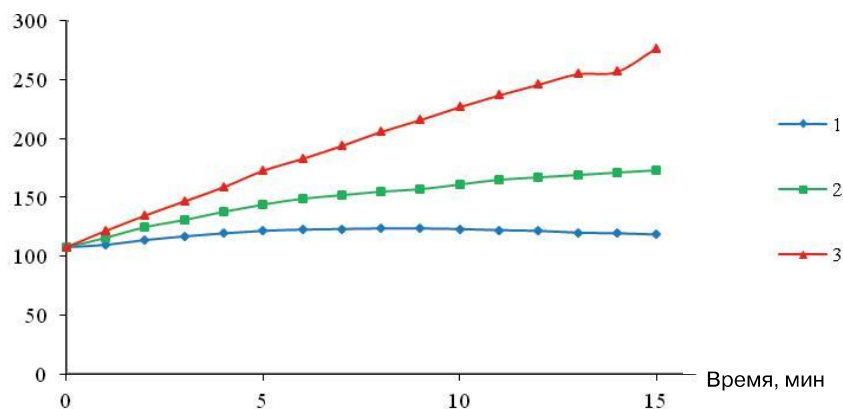
Таблица 3 / Table 3

Результаты флотации газовых углей с применением неорганических реагентов-модификаторов, % /
Results of gas coals flotation with the use of inorganic reagents-modifiers, %

Реагенты/ Reagents	Выход кон- центрата / Concentrate output	Зольность / Ash content		Извлечение горючей массы в концентрат / Recovery of the burning mass in the concentrate	Извлечение в отходы / Recovery to waste		
		концен- трата / concentrate	отхо- дов / waste		минер. вещества / miner. substances	общей серы / total sulfur	пирит- ной серы / pyrite sulfur
Кузнецкие газовые угли/ Kuznetsk Gas coals							
ВКП/ VKP	81,36	9,11	54,34	89,68	57,75	19,57	29,72
MgSO ₄ +ВКП/ MgSO ₄ VKP	83,21	8,67	61,56	92,17	58,89	27,09	39,98
Al ₂ (SO ₄) ₃ +ВКП/ Al ₂ (SO ₄) ₃ +VKP	83,39	8,83	61,45	92,23	58,09	20,96	30,74
Fe ₂ (SO ₄) ₃ +ВКП/ Fe ₂ (SO ₄) ₃ VKP	83,87	8,59	64,32	93,02	59,01	23,93	36,04

Для определения характера влияния исследуемых соединений на энергетическое состояние пиритной поверхности с помощью потенциометрического метода определен электродный потенциал (ϕ). Анализ кинетики ϕ -потенциала пирита свидетельствует о том,

что в результате использования сульфатов алюминия, железа и магния происходит пост-потенциала (см. рисунок), при этом его максимальное изменение для указанных веществ составляет соответственно 10,5 → 65 → 169.



Кинетика изменения j -потенциала пирита в присутствии сульфата алюминия (1), сульфата железа (2), сульфата магния (3) / The kinetics of the change in the j -potential of pyrite in the presence of aluminum sulphate (1), iron sulphate (2), and magnesium sulphate (3)

Данные по извлечению пиритной серы в отходы флотации хорошо коррелируются со значениями $\Delta\phi_{\max}$. Этот факт свидетельствует о том, что подавление пиритизированных примесей углей обусловлено, в первую очередь, изменением электроповерхностных свойств пирита.

Возрастание ϕ -потенциала свидетельствует об увеличении количества одноимен-

но заряженных частиц и образовании гидратного слоя. Этот факт подтверждается значениями краевых углов смачивания пирита, которые при наличии сульфатов алюминия, железа и магния уменьшаются на 1,16° → 4,39° → 6,90° соответственно.

Сопоставимость результатов влияния исследуемых сульфатов на электродный потенциал пирита и степень гидратирован-

ности его поверхности может быть обусловлена изменением величины радиуса катиона металла ввиду того, что ионы большего радиуса характеризуются высокой поляризацией, что, соответственно, увеличивает электростатическое взаимодействие между ионом металла и поверхностью адсорбента и, следовательно, приводит к повышению их адсорбционной способности. Сравнительный анализ радиусов катионов металлов (r) позволяет сделать вывод о том, что наибольшей адсорбционной способностью обладают ионы магния, т.к. $r_{\text{Mg}^{2+}}(0,66\text{Å}^0) > r_{\text{Fe}^{3+}}(0,64\text{Å}^0) > r_{\text{Al}^{3+}}(0,51\text{Å}^0)$.

Целесообразность применения для оценки эффективности действия реагентов-модификаторов величины радиуса катиона обусловлена тем, что все рассматриваемые в данной работе соединения, являясь сильными электролитами, в растворах присутствуют в виде ионов. Катионы металлов в водных системах существуют в виде аквакомплексов, образованных за счет донорно-акцепторного взаимодействия К - OH_2 [2]. Адсорбция аквакомплексов катионов солей приводит к повышению гидратированности поверхности пирита за счет образования водородных связей между координированными молекулами воды аквакомплексов и молекулами воды гидратной оболочки поверхности пирита, что и обуславливает депрессию пиритсодержащих примесей углей при флотации.

Выводы:

1. В результате петрографического анализа исследуемых углей установлено, что основным микрокомпонентом является витринит (85 %). Химический анализ показал,

что влажность углей составляет 2,27 %, зольность – 17,82 %, выход летучих веществ – 32,90 %, массовая доля неорганической серы – 0,38 %, органической – 0,43 %. Результаты исследования химического состава минеральной части углей свидетельствуют, что основными компонентами золы являются оксиды кремния, алюминия, железа и серы.

2. Анализ качественно-количественных показателей флотации кузнецких углей показал, что применение неорганических реагентов-модификаторов позволяет повысить извлечение серы в отходы флотации. При этом наибольшим депрессирующим действием обладает сульфат магния – извлечение пиритной серы в отходы флотации увеличивается в среднем на 10 % по сравнению с индивидуальным применением ВКП.

3. Анализ кинетики изменения электродного потенциала пирита свидетельствует об увеличении значений потенциала в присутствии неорганических реагентов-модификаторов.

4. Использование реагентов-модификаторов позволяет снизить гидратированность поверхности пирита, что подтверждается уменьшением краевых углов смачивания пирита.

5. Анализ результатов изучения влияния исследуемых сульфатов на физико-химические и флотационные свойства газовых углей показывает целесообразность их использования в качестве реагентов – модификаторов, позволяющих снизить содержание серы в угольных концентратах за счет депрессии пиритсодержащих примесей, обусловленной повышением гидратированности их поверхности.

Список литературы

1. Беркутов Н. А., Неугодникова С. В., Куприянова С. Н., Савченко А. В. Улучшение экологической обстановки города при модернизации технологических процессов коксохимического производства // Кокс и химия. 2020. № 6. С. 2–4.
2. Бочкарев А. В., Белопухов С. Л., Жевнеров А. В., Демин С. В. Расчет отношений приведенных статистических сумм по состояниям изотопных форм (β -факторов) для аквакомплексов катиона магния // Известия ТСХА. 2017. Вып. 3. С. 138–143.
3. Букин С. Л., Шолда Р. А. Основные направления десульфуризации углей и антрацитов Донбасса // Комплексные процессы обогащения, переработки и использования минерально-сырьевых ресурсов: материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф.-семинара 5 декабря 2019 г.). Донецк: ДонНТУ, 2019. С. 85–106.
4. Мельниченко Е. И. Технологии снижения содержания серы в угле // ВИНТИ РАН. Депон. рукопись № 76-В2018 03.07.2018.
5. Мирошниченко И. В., Мирошниченко Д. В., Шульга И. В. Теплота сгорания кокса. Сообщ. 6. Способы повышения // Кокс и химия. 2020. № 8. С. 20–30.

6. Петухов В. Н., Смирнов А. Н., Волощук Т. Г., Свечникова Н. Ю., Дундуков В. Г. Снижение потерь органической массы углей за счет разработки нового технологического режима флотации с использованием реагента-модификатора // Кокс и химия. 2019. № 4. С. 2–9.
7. Прохоров К. В., Полтарецкая А. Е. Эффект электрохимического контроля процесса истирания сульфидсодержащих руд при подготовке их для флотации // Проблемы недропользования. 2019. № 2. С. 115–121.
8. Рябов Ю. В., Делицын Л. М., Ежова Н. Н., Лавриненко А. А. Эффективность применения реагента-модификатора ПАВ-2 при флотации недожога из золы уноса теплоэлектростанций // Обогащение руд. 2018. № 1. С. 43–49.
9. Фрейдина Е. В., Ботвинник А. А., Дворникова А. Н. Системный подход к развитию управления качеством угольной продукции // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 6. С. 13–25.
10. Харионовский А. А., Калушев А. Н., Васева В. Н., Симанова Е. И. Экология угольной промышленности: состояние, проблемы, пути решения // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 2. С. 70–81.
11. Харлампынкова Ю. А., Семенова С. А., Патраков Ю. Ф., Клейн М. С. Возможность улучшения качества труднообогатимого угля // Вестник Тувинского государственного университета. 2017. № 2. С. 111–116.
12. Meijun Wang, Yanfeng Shen, Yongfeng Hu, Jiao Kong, Jiancheng Wang, Liping Chang. Effect of pre-desulfurization process on the sulfur forms and their transformations during pyrolysis of Yanzhou high sulfur coal // Fuel. 2020. Vol. 276. Art. 118124.
13. Olivier Tambwe, Athanasios Kotsiopoulos, Susan T.L. Harrison. Desulphurising high sulphur coal discards using an accelerated heap leach approach // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 197. Art. 105472.
14. Xiuchao Yang, Jiaxun Liu, Xinyu Zhong, Yuanzhen Jiang, Xiumin Jiang. Synergistic mechanisms of mechanochemical activation on the mild oxidative desulfurization of superfine pulverized coal // Fuel. 2021. Vol. 303. Art. 121253.
15. Yongliang Xu, Yang Liu, Yunchuan Bu, Menglei Chen, Lanyun Wang. Review on the ionic liquids affecting the desulfurization of coal by chemical agents // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 284. Art. 124788.

References

1. Berkutov N. A., Neugodnikova S. V., Kupriyanova S. N., Savchenko A. V. *Koks i himiya* (Coke and chemistry), 2020, no. 6, pp. 2–4.
2. Bochkarev A. V., Belopuhov S. L., Zhevnerov A. V., Demin S. V. *Izvestiya TSHA* (News of the TSKhA), 2017, no. 3, pp. 138–143.
3. Bukin S. L., Sholda R. A. *Kompleksnyye protsessy obogashheniya, pererabotki i ispolzovaniya mineralno-syrevykh resursov: materialy XXII Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. -seminara* (Complex processes of enrichment, processing and use of mineral resources: materials of the XXII International Scientific and Technical Conference-Seminar). Donetsk: DonNTU, 2019, pp. 85–106.
5. Melnichenko E.I. *VINITI RAN* (VINITI RAS), 2018, no. 76-V2018 03.07.
6. Petukhov V. N., Smirnov A. N., Voloshchuk T. G., Svechnikova N.Yu., Dundukov V.G. *Koks i himiya* (Coke and chemistry), 2019, no. 4, pp. 2–9.
7. Prokhorov K. V., Poltaretskaya A. E. *Problemy nedropolzovaniya* (Problems of subsurface use), 2019, no. 2, pp. 115–121.
8. Ryabov Yu. V., Delitsyn L. M., Ezhova N. N., Lavrinenko A. A. *Obogashhenie rud* (Ore dressing), 2018, no. 1, pp. 43–49.
9. Freyding E. V., Botvinnik A. A., Dvornikova A. N. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Kuzbass State Technical University), 2017, no. 6, pp. 13–25.
10. Kharionovsky A. A., Kalushev A. N., Vaseva V. N., Simanova E. I. *Vestn. nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v uglonoy promyshlennosti* (Scientific Center for Work Safety in the Coal industry), 2018, no. 2, pp. 70–81.
11. Kharlampenkova Yu. A., Semenova S. A., Patrakov Yu. F., Kleyn M. S. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Tuva State University), 2017, no. 2, pp. 111–116.
12. Meijun Wang, Yanfeng Shen, Yongfeng Hu, Jiao Kong, Jiancheng Wang, Liping Chang. *Fuel* (Fuel), 2020, vol. 276, art. 118124.
13. Olivier Tambwe, Athanasios Kotsiopoulos, Susan T.L. Harrison. *Hydrometallurgy* (Hydrometallurgy), 2020, vol. 197, art. 105472.

14. Xiuchao Yang, Jiaxun Liu, Xinyu Zhong, Yuanzhen Jiang, Xiumin Jiang. *Fuel* (Fuel), 2021, vol. 303, art. 121253.

15. Yongliang Xu, Yang Liu, Yunchuan Bu, Menglei Chen, Lanyun Wang. *Journal of Cleaner Production* (Journal of Cleaner Production), 2021, vol. 284, art. 124788.

Информация об авторе

Медяник Надежда Леонидовна, д-р техн. наук, профессор, зав.кафедрой химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, комплексная технология переработки горно-обогатительного сырья
medyanikmagnitka@mail.ru

Муллина Эльвира Ринатовна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, технология физико-химической переработки техногенных образований
e.mullina@inbox.ru

Мишурина Ольга Алексеевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, технология физико-химической переработки техногенных образований
olegro74@mail.ru

Information about the author

Nadezhda Medyanik, doctor of technical sciences, professor, head of the Chemistry department, Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: mineral processing, complex technology of processing of mining and processing raw materials

Elvira Mullina, candidate of technical sciences, associate professor, assistant professor, Chemistry department, Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: mineral processing, technology of physical and chemical processing of technogenic formations

Olga Mishurina, candidate of technical sciences, associate professor, assistant professor, Chemistry department, Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: mineral processing, technology of physical and chemical processing of technogenic formations

Для цитирования

Медяник Н. Л., Муллина Э. Р., Мишурина О. А. Применение неорганических реагентов-модификаторов для извлечения серосодержащих примесей при флотации газовых углей // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 6. С. 23–30. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-23-30.

Medyanik N., Mullina E., Mishurina O. Application of inorganic reagents-modifiers for the extraction of sulphur-containing impurities in the flotation of gas coals // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 6, pp. 23–30. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-23-30.

Статья поступила в редакцию: 03.06.2021 г.
Статья принята к публикации: 09.06.2021 г.