

**ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
MINERAL PROCESSING**

Научная статья

УДК 61.51:52.45.19

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-13-21

**ПОЛУЧЕНИЕ ФЛОТАЦИОННЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ
УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОЗОНИРОВАННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ****Семенова Светлана Александровна,
Патраков Юрий Федорович,
Яркова Анастасия Владимировна**

Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

*для корреспонденции: semlight@mail.ru**Информация о статье**

Поступила:

08 апреля 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

7 июня 2022 г.

Принята к публикации:

17 июня 2022 г.

Ключевые слова:нефть, нефтяные фракции,
озонирование, флотация, уголь**Аннотация.**

. Нефтепродукты традиционно используются в технологиях обогащения минеральных руд, горючих сланцев и каменных углей. Для повышения эффективности флотореагентов на нефтяной основе для обогащения каменных углей использован метод озонолитического модифицирования. Исследуемые образцы – сырая легкая нефть и керосиновая фракция перегонки нефти. Выбор оптимального расхода озона основан на тестировании нескольких концентраций: 45, 85 и 100 мг/л. Показано, что наиболее оптимальными условиями модифицирования нефтепродуктов для повышения их флотационной активности являются концентрации озона в пределах $45 \leq C(O_3) \leq 85$ мг/л. Удельный расход озона составил 6-12 г/кг для модифицирования керосина и 8-15 г/кг для нефти. Озонирование нефтепродуктов способствует модификации их углеводородного состава с образованием кислородсодержащих соединений различной функциональности: алифатических и ароматических кислот, спиртов, эфиров, а также высокомолекулярных смолистых продуктов. Для характеристики степени окисленности использованы методы химического и ИК-спектрального анализов. Полученные продукты приобретают свойства комплексных реагентов типа «собираетель + пенообразователь». Использование озонированных нефтепродуктов приводит к повышению эффективности флотации коксующихся углей: снижению расхода реагента, увеличению выхода концентрата и зольности отходов. Озонолитическая обработка нефтепродуктов показала высокую эффективность для сырых легких нефтей.

Для цитирования: Семенова С.А., Патраков Ю.Ф., Яркова А.В. Получение флотационных реагентов для обогащения углей на основе озонированных нефтепродуктов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 3 (151). С. 13-21. doi: 10.26730/1999-4125-2022-3-13-21

Введение. Технологии глубокой переработки углей неразрывно связаны с первичной подготовкой и комплексным обогащением угольного сырья. Получение низкзолных угольных концентратов определяется разработкой специальных реагентных режимов флотационного

Таблица 1. Характеристика используемых нефтепродуктов
Table 1. Characteristics of used petroleum products

Реагент	Концентрация озона, мг/л	Плотность кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Удельный расход озона на окисление, г/кг	Кислотное число КЧ, мг/100 г	Выход смолистых продуктов, %
Керосин	0	785	1,20	-	0,04	0
	45	-	-	5,89	0,52	0,36
	85	-	-	12,08	0,84	0,92
	100	-	-	13,55	0,85	1,1
Сырая нефть	0	854	13,5	-	0,04	-*
	45	-	-	7,6	0,26	-
	85	-	-	14,98	0,43	-
	100	-	-	19,48	0,66	-

*Выход смолистых продуктов из нефти не определяли вследствие интенсивного окрашивания исходного продукта.

процесса. Использование эффективных флотореагентов способствует повышению селективности процесса обогащения, снижению расходов реагентов, позволяет снизить затраты на их стоимость и очистку промышленных вод. Поэтому представляется актуальным поиск наиболее эффективных компонентов и методов их модифицирования с целью придания необходимых для флотационных реагентов свойств.

В процессах флотационного обогащения каменных углей широко применяются продукты и отходы нефтепереработки и нефтехимии. В качестве собирателей используют аполярные реагенты: керосин, термогазойль, дизельное топливо [1, 2], а также тяжелые нефтяные фракции в сочетании с легкими [3]. В качестве пенообразователей применяют реагенты с полярными функциональными группами и углеводородным радикалом, например, кубовые остатки производства бутанола (реагент КОБС) или пропиленгликоля (реагент ОПСБ) [1-3].

Для совершенствования режимов флотации совместно используют аполярные и гетерополярные реагенты – нефтяные углеводороды (керосин, газойль) и технические смеси спиртов и эфиров (КОБС, ОПСБ и др.) [3-5] или окиси олефинов [6]. Подобные реагенты имеют в своем составе полярный гетероатом кислорода или кислородсодержащую функциональную группу (-ОН, -СООН, -С=О) [6, 7]. Наличие полярного центра обеспечивает возможность закрепления углеводородов на энергетически неоднородной поверхности угля за счет сил межмолекулярного взаимодействия (например, водородных связей) с полярными группами органической массы угля [4].

Помимо добавки поверхностно-активных веществ для повышения эффективности флотации углей возможно использование окислительной модификации аполярных нефтяных фракций с получением при этом комплексных реагентов, одновременно обладающих собирательными и пенообразующими свойствами [8]. Так, каталитическое окисление керосиновых фракций приводит к значительному повышению их флотационной активности при расходах в 3-4 раза меньших, чем в случае использования традиционных реагентных смесей [9]. Также представляет интерес электрохимический способ окисления аполярных собирателей, при котором углеводороды могут быть окислены до соответствующих кислот [6].

Другим не менее перспективным методом окислительной модификации является озонирование. По сравнению с другими традиционными методами (окисление молекулярным кислородом, пероксидом водорода, перманганатом калия, минеральными кислотами и др.) озонирование имеет ряд преимуществ: высокая реакционная способность, селективность к определенным типам связей, мягкие условия процесса (без повышения температуры, давления и использования катализатора).

Цель данной работы – исследование влияния озонирования на изменение химического состава нефтепродуктов с целью улучшения их флотационных свойств при обогащении угля.

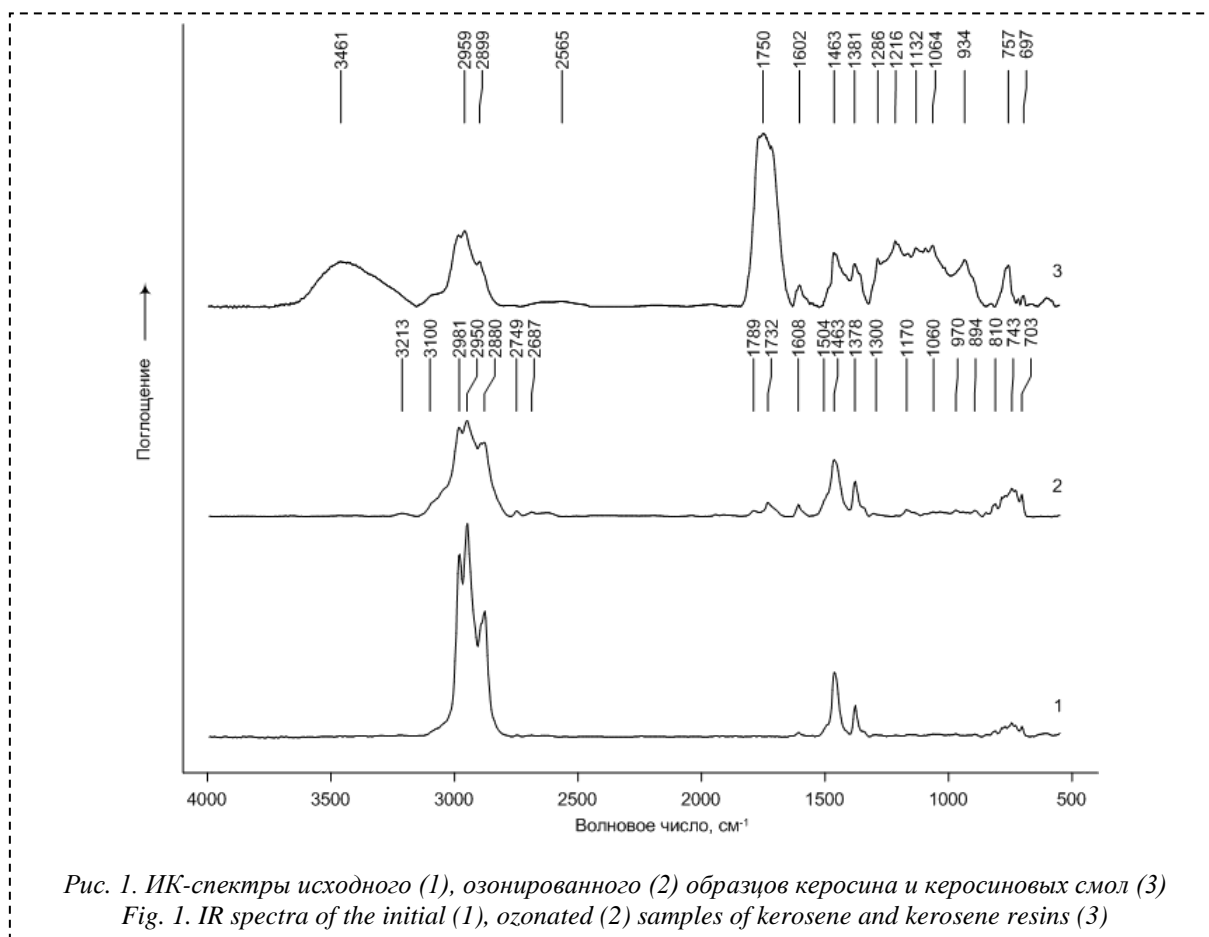


Рис. 1. ИК-спектры исходного (1), озонированного (2) образцов керосина и керосиновых смол (3)
 Fig. 1. IR spectra of the initial (1), ozonated (2) samples of kerosene and kerosene resins (3)

Методы исследования. В качестве объектов исследования использовали товарную пробу сырой нефти месторождения г. Стрижевой и керосиновую фракцию разгонки нефти. Характеристики нефтепродуктов приведены в табл. 1.

Озонирование нефтяных углеводородов ($V=50$ мл) проводили при комнатной температуре и атмосферном давлении в реакторе барботажного типа при различных концентрациях озона: 45, 85 и 100 мг/л. Концентрацию озона регулировали изменением мощности озонатора. Продолжительность озонирования – 1 ч. Скорость газового потока – 140 мл/мин. В качестве озонируемого газа использовали газообразный кислород высокой чистоты марки 4,0. Количество озона в газовой смеси определяли УФ-газоанализатором (поглощение озоном в ультрафиолетовой области спектра при длине волны около 250 нм) до и после ее выхода из реактора. По экспериментальным данным рассчитывали общее количество прореагировавшего озона (г/кг).

Вязкость нефтепродуктов определяли на капиллярном стеклянном вискозиметре ВНЖ с диаметром капилляра 0,61 мм.

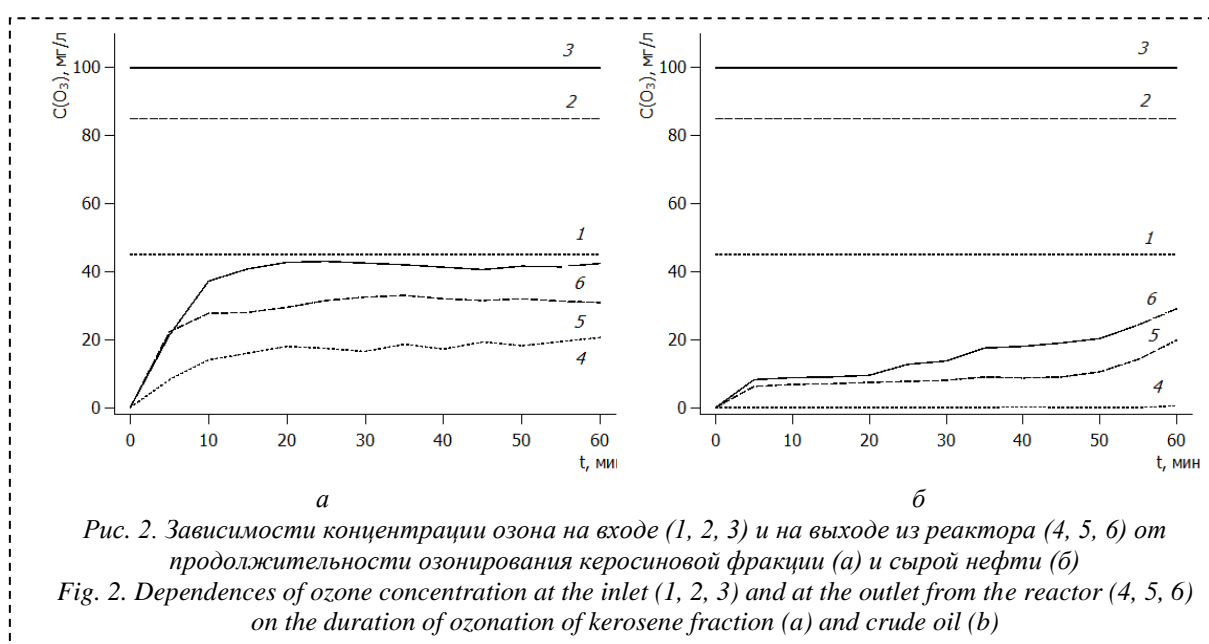
Кислотное число (КЧ) определяли по ГОСТ 22304-07 титрованием растворенного в спиртобензольной смеси образца раствором КОН (индикатор – фенолфталеин).

Отделение смол от нефтепродукта проводили методом осаждения с последующим растворением в полярном растворителе ацетоне.

Флотационную активность нефтепродуктов оценивали по обогащению угольной мелочи (фракция $<0,2$ мм) зольность $A_{и}^d = 9,0$ % марки КС (коксовый слабоспекающийся) Кемеровского месторождения Кузнецкого угольного бассейна. Опыты проводили в лабораторной флотационной машине при постоянном расходе собирателя с содержанием твердого в питании 50 г/л, при расходе реагентов 2 кг/т.

Результаты опытов процесса флотации оценивали по выходу концентрата γ_k и отходов γ_o , зольности концентрата A_k^d и отходов A_o^d , извлечению горючей массы в концентрат E_k и селективности процесса $K_{сел}$. Показатель $K_{сел}$ рассчитывали:

$$K_{сел} = (A_o^d - A_k^d) / (100 - A_{и}^d),$$



где $A_{\text{о}}^{\text{д}}$, $A_{\text{к}}^{\text{д}}$ и $A_{\text{и}}^{\text{д}}$ - зольность отходов, концентрата и исходного угля соответственно.

Описание результатов. При обработке озono-кислородными смесями все насыщенные (алканы, нафтенy), ароматические и гетероатомные нефтяные УВ подвергаются радикально цепным окислительным превращениям либо реагируют по механизму электрофильного присоединения с разрывом непредельных С=C-связей. Наибольшей реакционной активностью по отношению к озону обладают непредельные ($k = 2 \cdot 5 \cdot 10^5$ л/моль·сек), полиароматические ($k = 20 \cdot 500$ л/моль·сек) и гетероатомные серо- и кислородсодержащие соединения (тиофен, фенол). Скорость взаимодействия алифатических и моноароматических соединений существенно ниже (алканы и циклоалканы: $k = 0,02 - 0,2$ л/моль·сек; бензол: $k = 0,06$ л/моль·сек) [11, 12].

Результатом озонирования нефтепродуктов является образование кислородсодержащих соединений различного состава: неустойчивых озонидов (первичных продуктов реакции), кислот, альдегидов, эфиров, кетонов и т.д. В ИК-спектрах озонированных нефтепродуктов возрастает интенсивность полос поглощения ОН-спиртов и карбоновых кислот (3400 см^{-1}), С=О лактонов и ангидридов (1780 см^{-1}), С=О алифатических (1730 см^{-1}) и ароматических (1710 см^{-1}) кислот, ароматических кетонов (1650 см^{-1}), С-О циклических эфиров, фуранов и лактонов ($1170, 970 \cdot 1060 \text{ см}^{-1}$), S=O сульфоксидов ($1300, 1150, 1050 \text{ см}^{-1}$) (рис. 1).

Озонированные нефтепродукты характеризуются повышением кислотного числа по мере увеличения количества потребляемого озона (таблица 1). Так, при увеличении концентрации озона от 45 до 100 мг/л КЧ возрастает от 16,5 до 21,2 раз для сырой нефти и керосиновой фракции соответственно.

Помимо растворимых кислородсодержащих соединений в составе модифицированных озонoм нефтепродуктов образуются нерастворимые высокомолекулярные коричневоокрашенные вещества – смолы. Образование смол происходит за счет протекания побочных реакций при взаимодействии первичных продуктов окисления с озонoм и друг с другом [13]. Выход смолистых продуктов возрастает с повышением концентрации озона, и, как следствие, его расхода на реакцию с углеводородами нефтепродуктов (табл. 2).

На рис. 2 представлены кинетические зависимости изменения концентрации озона в газовой смеси на выходе из реактора.

Анализ динамики выделения непрореагировавшего озона (рис. 2 а, б) показывает, что большее количество озона затрачивается на реакции с УВ сырой нефти. Отметим, что при использовании наименьшей концентрации озона (45 мг/л) окислитель почти полностью поглощается УВ нефти и практически не регистрируется на выходе из реактора на протяжении всего процесса (рис. 2, б). Объясняется это наличием в составе сырой нефти соединений более разнообразного строения с различной реакционной способностью по отношению к озону по сравнению с компонентами керосиновой фракции. При этом состав керосина более

Таблица 2. Результаты флотационного обогащения угля марки КС
Table 2. Results of flotation enrichment of KS grade coal

Концентрация озона, мг/л	Выход концентрата $\gamma_k, \%$	Зольность концентрата, $A_k^d, \%$	Выход отходов $\gamma_o, \%$	Зольность отходов, $A_o^d, \%$	$E_k, \%$	$K_{сел}$
Керосин						
0	70,64	8,00	29,36	15,87	87,78	0,087
45	74,52	8,01	25,48	15,67	87,53	0,084
85	91,46	8,37	8,54	17,65	93,46	0,100
100	78,79	7,41	21,21	13,93	92,88	0,079
Сырая нефть						
0	22,98	7,48	77,02	10,17	41,97	0,030
45	66,9	7,88	33,10	11,80	71,31	0,043
85	73,14	7,50	26,86	11,53	62,84	0,044
100	80,65	7,69	19,35	16,60	86,11	0,098

сбалансирован и содержит главным образом алифатические соединения состава C_6-C_{13} , циклоалканы, а также небольшие количества моно- и биароматических УВ [14].

С повышением концентрации озона от 45 до 100 мг/л количество озона на выходе из реактора возрастает по мере продолжительности процесса и по достижении 10 мин. процесс озонирования выходит на стационарный режим (рис. 1). Это указывает на большую полноту реакций озона с компонентами нефтепродуктов при выборе относительно низких концентраций озона. Поэтому можно полагать, что использование высоких концентраций озона ведет не только к развитию побочных окислительных реакций и осмолению продукта, но и к нецелесообразной затрате материальных и энергетических ресурсов.

Кислородсодержащие соединения, образующиеся в составе нефтепродуктов при их озонировании, имеют гетерополярные свойства (полярная кислородная группа и аполлярный углеводородный каркас) и способны образовывать водородные связи с гидрофильными группами на поверхности угля. В совокупности это способствует гидрофобизации угольной поверхности, закреплению реагента и повышению выхода концентрата (таблица 2, рис. 3).

Изучение флотационной активности реагентов проводили с использованием малозольного угля марки КС, который был отобран в качестве модельного образца с высоким содержанием гидрофобной органической компоненты для минимизации вклада в гидратированность поверхности минеральной составляющей угля.

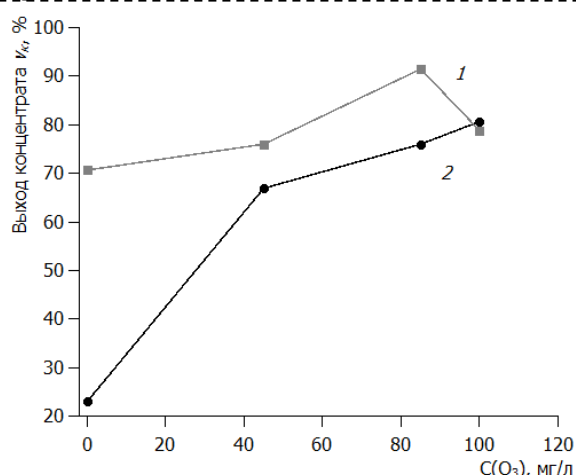


Рис. 3. Выход концентрата при использовании в качестве флотореагентов озонированных керосина (1) и сырой нефти (2)

Fig. 3. Concentrate yield when ozonated kerosene (1) and crude oil (2) are used as flotation reagents

Анализ результатов флотации показывает, что использование модифицированных нефтепродуктов в процессе флотационного обогащения коксуемого угля позволяет существенно повысить выход обогащенного угля по сравнению с использованием исходных реагентов. Максимальное увеличение выхода концентрата γ_k составило 1,3 раза в случае керосина и 3,5 раза при использовании нефти. При этом коэффициент селективности $K_{сел}$ возрастает в 1,2 и в 3,3 раза соответственно.

На рис. 3 представлен график изменения выхода угольного концентрата в зависимости от концентрации озона, используемой для модифицирования керосина и нефти. Из

графика видно, что эффективность озонированных нефтепродуктов во флотации возрастает с увеличением доли озона на их модифицирование. Большая флотационная активность модифицированных озонем реагентов обусловлена повышением в их составе полярных кислородсодержащих соединений, способных образовывать межмолекулярные связи с полярными функциональными группами на поверхности угольных частиц и тем самым способствовать лучшему закреплению реагента [8]. Максимальная эффективность реагентов отмечается при использовании на их модифицирование озона с концентрацией 45-85 мг/л. Применение более высоких концентраций озона может привести к обратному эффекту и снижению выхода концентрата, как в случае с керосином (рис. 2), вследствие возможного закисления пульпы реагентами.

Отметим, что сырая нефть в качестве флотореагента обычно не используется вследствие ее низких флотационных показателей. При этом ее озонированный аналог показал себя как очень эффективный флотореагент, сравнимый по показателям с традиционными аполярными реагентами на нефтяной основе – керосином и газойлем [9].

Заключение

Озонирование способствует преобразованию углеводородного состава нефтепродуктов с увеличением в них доли полярных кислородсодержащих соединений, что позволяет получать на их основе эффективные гетерополярные реагенты для флотации углей. Озонированные нефтепродукты представляют из себя комплексные реагенты, сочетающие свойства полярных пенообразователей и аполярных углеводородов-собираателей. Их использование может позволить отказаться от введения в технологический процесс дорогостоящих вспенивателей и существенно сократить расходы на обогащение углей.

Предварительная озонолитическая обработка нефтепродуктов положительно влияет на процесс флотации: увеличиваются выход концентрата, извлечение горючей массы в концентрат и коэффициент селективности процесса. Показана целесообразность использования невысоких концентраций озона (45-85 мг/л) для достижения оптимальных результатов флотации.

Полученные в результате побочных реакций озонирования смолы могут быть использованы в производстве лакокрасочных материалов и антикоррозийных покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хан Г. А., Габриелова Л. И., Власова Н. С. Флотационные реагенты и их применение. М. : Недра, 1986. 271 с.
2. Абрамов А. А. Собрание сочинений: Т. 7. Флотация. Реагенты-собиратели. М. : Горная книга, 2012. 656 с.
3. Власова Н. С., Классен В. И., Плаксин И. Н. Исследование действия реагентов при флотации каменных углей. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. 172 с.
4. Классен В. И. Флотация углей. М. : Гос. науч.-тех. изд-во по горному делу, 1963. 380 с.
5. Melo F., Laskowski J.S. Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation // *Miner. Eng.* 2006. V.19. Pp. 766–773.
6. Тюрникова В. И., Наумов В. Е. Повышение эффективности флотации. М. : Недра, 1980. 224 с.
7. Гришин И. А., Князбаев Ж. С. Основные направления совершенствования реагентных режимов флотации углей // *Успехи современного естествознания*. 2015. № 12. С. 87-90.
8. Khoshdast H., Sam A. Flotation Frothers: Review of Their Classifications, Properties and Preparation // *Open Miner. Process. J.* 2011. V. 4. pp. 25-44.
9. Семенова С. А., Патраков Ю. Ф. Использование озонированных нефтепродуктов для интенсификации процесса флотации угля // *Кокс и химия*. 2018. № 8. С. 24-28.
10. Сорокин А. Ф., Калакуцкий Б. Т., Куколев Я. Б., Циперович М. В., Блохин В. Е. Применение окисленных углеводородных продуктов для флотации углей // *Кокс и химия*. 1979. №1. С. 9-11.
11. Камьянов В. Ф., Лебедев А. К., Сивиролов П. П. Озонолиз нефтяного сырья. Томск : Раско, 1997. 271 с.
12. Zaikov G. E., Rakovsky S. K. Ozonation of Organic and Polymer Compounds. Shawbury, Shropshire, Shropshire: Smithers Rapra. 2009. 412 p.

13. Лившиц М. Л., Пшиялковский Б. И. Лакокрасочные материалы. Справочное пособие. М. : Химия, 1982. 360 с.

14. Семенова С. А., Патраков Ю. Ф., Клейн М. С. Влияние озонирования на компонентный состав и флотационные свойства керосина // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26. С. 435-441.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Семенова Светлана Александровна, Институт угля СО РАН, Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10, Россия), канд. хим. наук, доцент, semlight@mail.ru

Патраков Юрий Федорович, Институт угля СО РАН, Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10, Россия), доктор хим. наук, профессор, uirat52@gmail.com

Яркова Анастасия Владимировна, вед. инженер, Институт угля СО РАН, Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, (650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10, Россия), nas.yarkova1998@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Семенова Светлана Александровна – постановка исследовательской задачи, организация эксперимента, анализ и обобщение полученных результатов, написание текста.

Патраков Юрий Федорович – постановка исследовательской задачи, организация эксперимента, анализ и обобщение полученных результатов.

Яркова Анастасия Владимировна – обзор соответствующей литературы, практическое выполнение научной работы, сбор и анализ данных, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

PRODUCTION OF FLOTATION REAGENTS FOR COAL ENRICHMENT BASED ON OZONATED PETROLEUM PRODUCTS

Svetlana A. Semenova,
Yury F. Patrakov,
Anastasia V. Yarkova

Federal research center of coal and coal chemistry, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences

*for correspondence: semlight@mail.ru



Article info

Submitted:
08 April 2022

Approved after reviewing:
7 June 2022

Accepted for publication:
17 June 2022

Keywords: oil, oil fractions, ozonation, flotation, coal

Abstract.

Petroleum products are traditionally used in technologies for the enrichment of mineral ores, oil shale and coal. To increase the efficiency of oil-based flotation reagents for the enrichment of hard coals, the method of ozonolytic modification was used. The studied samples are light crude oil and kerosene fraction of oil distillation. The choice of the optimal ozone consumption is based on testing several concentrations: 45, 85 and 100 mg/l. The specific ozone consumption was 6-12 g/kg for kerosene modification and 8-15 g/kg for oil. It is shown that the most optimal conditions for the modification of petroleum products to increase their flotation activity are ozone concentrations in the range of $45 \leq C(O_3) \leq 85$ mg/l. Ozonation of petroleum products contributes to the modification of their hydrocarbon composition with the formation of oxygen-containing compounds of various functionality: aliphatic and aromatic acids, alcohols, esters, as well as high-molecular resinous products. Chemical and IR spectral analysis methods were used to characterize the degree of oxidation. The resulting products acquire the properties of complex reagents of the "collector + foaming agent" type. The use of ozonated petroleum products leads to an increase in the efficiency of coking coal flotation: a decrease in reagent consumption, an increase in concentrate yield and ash content of waste. Ozonolytic treatment of petroleum products has shown high efficiency for crude light oils. The study of the flotation activity of the reagents was carried out using low-ash coal of the KS brand, which was selected as a model sample with a high content of hydrophobic organic part to minimize the contribution to the hydration of the surface of the mineral component of coal.

For citation: Semenova S.A., Patrakov Yu.F., Yarkova A.V. Production of flotation reagents for coal enrichment based on ozonated petroleum products. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*—Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 3(151):13-21. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-3-13-21

REFERENCES

1. Khan G.A., Gabrielova L.I., Vlasova N.S. *Flotacionnye reagenty i ih primenenie* [Flotation reagents and their application]. Moscow: Nedra; 1986. 271 p. [In Russ].
2. Abramov A.A. *Sobranie sochinenij: T. 7. Flotaciya. Reagenty-sobirately* [Collected works: V. 7. Flotation. Reagents are collectors]. Moscow: Gornaya kniga; 2012. 656 p. [In Russ].
3. Vlasova N.S., Klassen V.I., Plaksin I.N. *Issledovanie dejstviya reagentov pri flotacii kamennyh uglej* [The study of the action of reagents in the flotation of bituminous coals]. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences; 1962. 172 p. [In Russ].
4. Klassen V.I. *Flotaciya uglej* [Flotation of coals]. Moscow, State scientific-technical publishing house in mining, 1963, 380 p. [In Russ].
5. Melo F., Laskowski J.S. Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation. *Miner. Eng.* 2006; 19: 766–773.
6. Tyumikova V.I., Naumov V.E. *Povyshenie effektivnosti flotacii* [Increasing the efficiency of flotation], Moscow: Nedra; 1980. 224 p. [In Russ].

7. Grishin I.A., Knyazbaev J.S. *Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya reagentnykh rezhimov flotacii uglej* [Basic directions of perfection of agent modes in flotation of coal]. *Successes of modern natural science*. 2015. N.12. Pp. 87-90.
8. Khoshdast H., Sam A. Flotation Frothers: Review of their classifications, properties and preparation. *Open Miner. Process. J.* 2011; 4: 25-44.
9. Patrakov Yu.F., Semenova S.A., Klein M.S. Benefits of ozonized petroleum products in coal flotation. *Coke and Chemistry*. 2018; 61(8): 301-304.
10. Sorokin A.F., Kalakutski B.T., Kukolev J.B., Tsiperovich M.V., Blokhin V.E. *Primenenie okislennykh uglevodorodnykh produktov dlya flotacii uglej* [Use of oxidized hydrocarbon products for flotation of coal]. *Coke and Chemistry*. 1979; 1: 9-11. [In Russ].
11. Zaikov G.E., Rakovsky S.K. *Ozonation of Organic and Polymer Compounds*. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire: Smithers Rapra; 2009. 412 p.
12. Razumovsky S.D., Zaikov G.E. *Ozone and its reactions with organic compounds*. Moscow: Nauka; 1974. 322 p. [In Russ].
13. Livshits M.L., Pshiyalkovsky B.I. *Lakokrasochnye materialy. Spravochnoe posobie* [Paint and varnish materials. Reference manual], Moscow: Chemistry; 1982. 360 p. [In Russ].
14. Semenova S.A., Patrakov Yu.F., Klein M.S. Effect of ozonation on component composition and flotation properties of kerosene. *Chemistry for Sustainable Development* 2018; 26: 423-428.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Svetlana A. Semenova, Institute of coal SB RAS, Federal research center of coal and coal chemistry, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, (650065, Kemerovo, Leningradskiy Ave., 10, Russia), C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, semlight@mail.ru

Yury F. Patrakov, Institute of coal SB RAS, Federal research center of coal and coal chemistry, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, (650065, Kemerovo, Leningradskiy Ave., 10, Russia), Dr. Sc. in Chemistry, Professor, yupat52@gmail.com

Anastasia V. Yarkova, lead engineer, Institute of coal SB RAS, Federal research center of coal and coal chemistry, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, (650065, Kemerovo, Leningradskiy Ave., 10, Russia), nas.yarkova1998@yandex.ru

Contribution of the authors:

Svetlana A. Semenova – research problem statement, organization of experiment, analysis and generalization of the results obtained, writing the text.

Yury F. Patrakov - research problem statement, organization of experiment, analysis and generalization of the results obtained.

Anastasia V. Yarkova – reviewing the relevant literature, practical implementation of scientific work, data collection and analysis, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

