

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА
И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUEL
AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 502.55

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-79-86

**РАЗРАБОТКА МАГНЕТИТОВОГО ЯДРА СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ
ВОДНЫХ СРЕД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Ушакова Елена Сергеевна, Ушаков Андрей Геннадьевич *,
Шурдова Анастасия Евгеньевна, Романова Анастасия Евгеньевна

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: uag.httt@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

14 июня 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 января 2025 г.

Опубликована:

12 марта 2025 г.

Ключевые слова:

магнитный сорбент,
нефлесорбент, магнетитовое
ядро, магнетит, избыточный
активный ил, ликвидация
аварийных разливов нефти.

Аннотация.

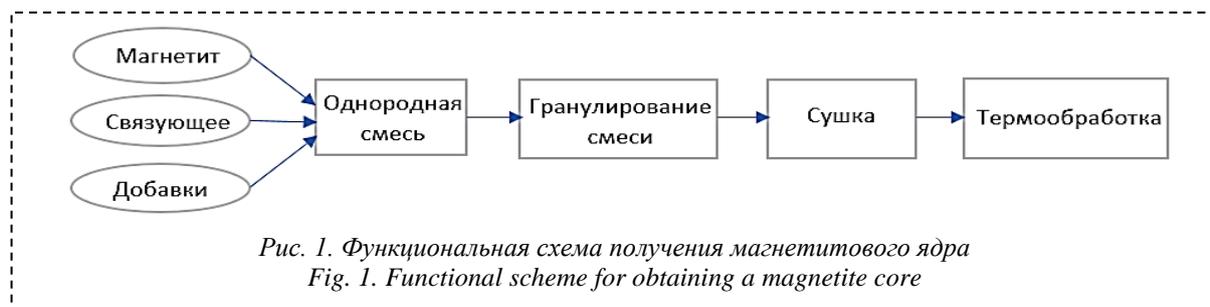
В статье предложено решение двух наиболее актуальных экологических проблем России. Первая – накопление большого количества избыточного активного ила, который складывается на иловых картах и занимает значительные территории. Вторая – проблема очистки водных пространств от разливов нефти и нефтепродуктов. Целью данного исследования является разработка твердого ядра, применяемого в сорбентах для очистки загрязнений с водной поверхности на примере нефлесорбента. В рамках работы были проведены лабораторные исследования сырья и полученных продуктов, эксперименты по получению различных образцов ядра, обобщение и сравнительный анализ полученных данных. Для этого в лабораторных условиях были получены образцы магнетитового ядра и определены их технические характеристики. По результатам исследования проведен сравнительный анализ полученных данных. В результате были выявлены факторы, влияющие на прочность магнетитового ядра: условия термообработки магнетита, концентрация и время выдерживания ядра в отвердителе, режим и температура обработки ядра. С увеличением концентрации отвердителя возрастает и прочность магнетитового ядра, однако при концентрации выше 20% статическая прочность резко снижается. Оптимальным режимом термообработки является постепенное нагревание до 600°C, так как при этой температуре магнетитовое ядро устойчиво.

Для цитирования: Ушакова Е.С., Ушаков А.Г., Шурдова А.Е., Романова А.Е. Разработка магнетитового ядра сорбентов для очистки водных сред от загрязнений // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 1 (167). С. 79-86. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-79-86, EDN: HBWMYY

Глобализация и рост научно-технического прогресса ведут к усилению антропогенного воздействия на окружающую среду. Загрязнение водной среды вредными химическими веществами во многих регионах и странах достигло критической точки и стало

серьезнейшей экологической проблемой XXI века [1-4].

Если рассматривать состояние поверхностных вод РФ, то исследования показывают содержания от 0,5 до 40 мг/л водорастворимых нефтепродуктов, из которых на



долю ароматических углеводородов приходится до 90% всех загрязнений. Прежде всего это связано со значительными объемами водопотребления и водоотведения предприятий нефтегазодобывающих компаний, а также аварийными ситуациями, возникающими при транспортировании нефти и нефтепродуктов [5].

На сегодняшний день проблема очистки водных пространств от различного рода загрязнителей наиболее актуальна. Для минимизации нагрузки на экологическую обстановку, флору и фауну существует потребность в поиске новых способов, подходов и приспособлений, обеспечивающих необходимую очистку [6, 7].

В случае возникновения внештатных ситуаций и необходимости локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов важным является реализация многофункционального комплекса задач, внедрение различных методов, а также использование современных технических средств. Вне зависимости от типа аварийного разлива первоначальные действия по его ликвидации необходимо направить на скорейшую локализацию пятен с целью фиксации местоположения загрязнений и недопущения распространения нефтесодержащих веществ на новые участки, т. е. максимально способствовать уменьшению площади загрязнения.

Сорбционная очистка при помощи сорбентов является одним из самых безопасных методов ликвидации загрязнений с водных пространств. Такой метод обладает рядом преимуществ: высокая экологическая безопасность, возможность удаления загрязнений практически до любой необходимой остаточной концентрации в воде [8, 9].

Но, несмотря на большое количество применяемых сорбентов, многие из них не удовлетворяют требованиям, которые предъявляются к таким материалам. Именно поэтому постоянно ведется поиск и разработка новых сорбционных материалов [10]. Так, получение сорбционных материалов на базе дешевых отходов промышленности является наиболее приоритетным, ведь отходы очистных сооружений и деревообрабатывающих предприятий используются вторично.

При использовании классических сорбентов из углеродсодержащих отходов возникает проблема его извлечения с водной поверхности. Ситуацию при этом обостряют сильные течения и ветер, из-за которых сорбенты могут перемещаться на дальние расстояния. Таким образом, проблема загрязнения не решается, а лишь еще больше ухудшается.

Решением в таком случае может стать использование модифицирующих добавок с магнитными свойствами, а именно направленное введение в состав нефтесорбентов магнитоуправляемых компонентов, что позволит управлять процессом сбора сорбентов с водной поверхности, сделать процесс отделения сорбентов, насыщенных нефтепродуктами, от воды более управляемым, что в целом увеличит эффективность контроля над ликвидацией разлива [11].

Таблица 1. Характеристика магнетитового ядра
Table 1. Magnetite core characteristics

| Параметр | Значение |
|---------------------------------|-------------|
| Влагоемкость, г/г | 0,42–0,44 |
| Размер, см | 0,35–0,38 |
| Масса, г | 0,016–0,018 |
| Плотность, кг/м ³ | 925–985 |
| Прочность на сжатие, кг/гранула | 2,2–2,3 |
| Динамическая прочность, % | 70,21–75,17 |
| Плавуемость, сут. | от 30 |

Таким образом, целью работы является разработка магнетитового ядра сорбента для очистки водоемов от загрязнений и определение факторов, которые влияют на прочность ядра.

Существует 3 способа введения магнитного материала в состав сорбента, но наиболее перспективным и приоритетным считается применение магнетитового ядра, поскольку в этом случае упрощается процесс извлечения его из золы при утилизации магнитных сорбентов.

Разработка магнетитового ядра, в первую очередь, основывается на выборе подходящего связующего, удовлетворяющего требованиям: термостойкость (способность выдерживать высокие температуры); легкость (не утяжеление массы сорбента); малая плотность; эффективное связывание частиц с магнетитом. Также требуется введение дополнительных веществ в

состав, в частности для получения формы ядра, близкой к сферической [12].

Магнетит со связующим и добавками гранулируется, после чего подвергается сушке в сушильном шкафу. Высушенные гранулы далее подвергаются термической обработке в муфельной печи, чтобы придать им термостойкость и чтобы при пиролизе не наблюдалось разрушение гранул сорбента за счет процессов расширения (вспучивания) ядра. Температурный режим термообработки должен способствовать формированию формы, не изменяться при дальнейшем нагревании [13-16].



Рис. 2. Внешний вид магнетитовых ядер

Fig. 2. Appearance of magnetite cores

Методика проведения эксперимента

Получение магнетитового ядра

Получение магнетитового ядра состоит из стадий, представленных на Рис. 1.

1. Приготовление однородной смеси. Для этого требуется приготовить смесь, содержащую 90% жидкого стекла, 5% магнетита и 5% добавок, позволяющих получить сферообразную форму ядер.

2. Гранулирование и выдерживание в растворе полимеризатора до получения необходимой прочности ядер.

3. Сушка. Осуществить сушку возможно двумя способами: при комнатных условиях (± 25 °C) или в сушильном шкафу (100 °C). Отличие заключается в продолжительности: при температуре ± 25 °C процесс удаления влаги занимает от одних до двух суток, при температуре 100 °C для полного высушивания требуется 60 минут. Далее ядра готовы к термообработке [16].

4. Термообработка.

Осуществляется в муфельной печи, где ядра подвергаются высокотемпературной обработке до 700-800 °C [12].

Определение характеристик сырья и продуктов

При определении содержания влаги в сырье и ядре руководствовались ГОСТ 12764-73 «Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Метод определения влаги». Зольность определяли в соответствии с ГОСТ Р 55661-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности». Прочность на сжатие определяли на приборе, представляющем собой модифицированные лабораторные двухчашечные весы [18].

Результаты эксперимента

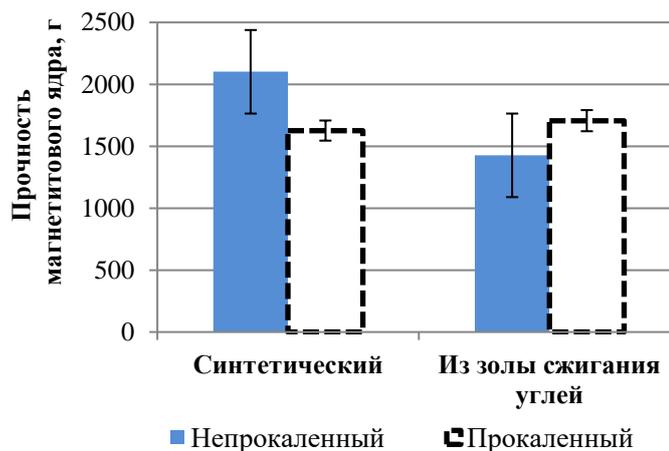


Рис. 3. Влияние природы магнетита на прочность магнетитового ядра

Fig. 3. Influence of the magnetite nature on the magnetite core strength

В результате проведенных исследований получены магнетитовые ядра (Рис. 2) – это магнитные образования в форме сферы от светло-серого до бурого цвета с усредненными характеристиками, представленными в Таблице 1.

В ходе исследования установлены факторы, влияющие на прочность магнетитового ядра.

Влияние природы магнетита и его термической обработки на прочность ядра приведено на диаграмме Рис. 3.

При использовании прокаленных образцов синтетического магнетита в ядре обнаружено уменьшение прочности на 22,6%, что может быть связано с наличием примесей гидрофобизатора, которые препятствуют формированию прочных ядер.

В случае применения прокаленного магнетита из золы сжигания углей наблюдается увеличение в среднем на 16% прочности ядра, над природой данного явления ведутся исследования.

Также выявлено, что прочность ядер зависит от концентрации отвердителя. Исследования показали, что с увеличением концентрации возрастает и прочность магнетитового ядра, чему

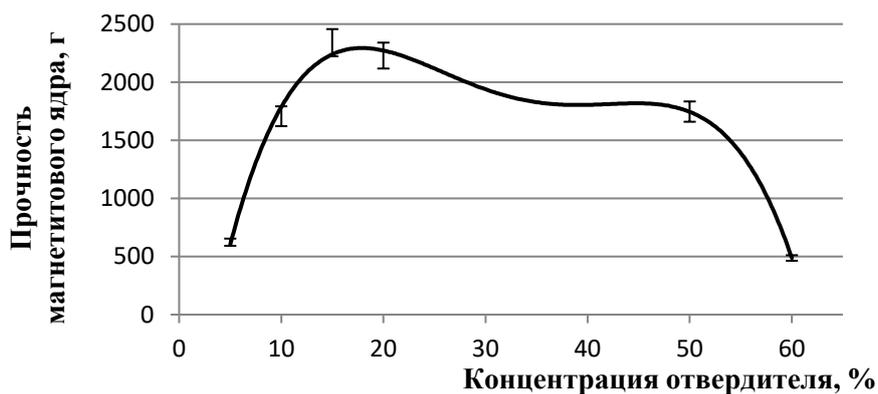


Рис. 4. Влияние концентрации отвердителя на прочность магнетитового ядра
Fig. 4. Effect of the hardener concentration on the magnetite core strength

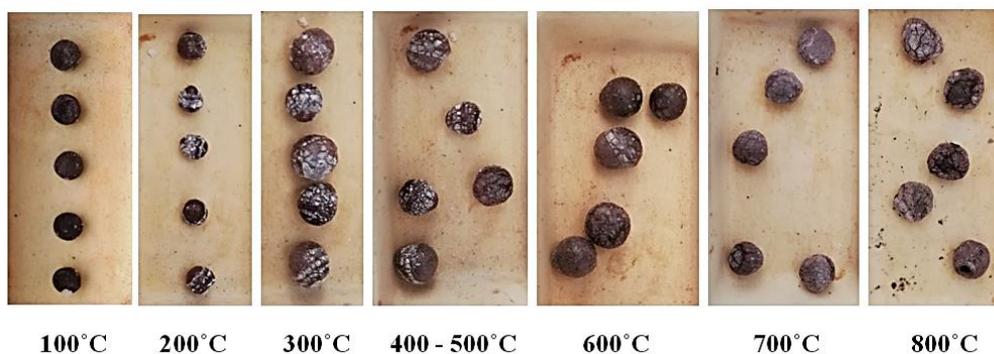


Рис. 5. Изменение формы и внешнего вида магнетитового ядра при нагреве
Fig. 5. Changing the shape and appearance of the magnetite core during heating

свидетельствует график на Рис. 4. Так, при увеличении концентрации отвердителя до 20% происходит значительное увеличение прочности, это связано с тем, что молекулы отвердителя свободно проникают в поры зародыша магнетитового ядра. Однако при концентрации выше 20% статическая прочность плавно снижается и достигает порядка 500 г, причиной тому является более плотная структура отвердителя, которая препятствует проникновению реагента в поры ядра.

Таким образом, концентрация отвердителя от 15 до 20% является оптимальной в технологии получения ядра.

Важным также является режим и температура термообработки.

Цель термообработки – получение термоустойчивого магнетитового ядра сферической формы особой прочности с целью повторного использования его в магнитном сорбенте. В результате термической обработки гранулы подвергаются нагреву до 800°C (Рис. 5). Через каждые 100°C проводили анализ статической прочности на сжатие (Рис. 6).

При 100°C прочные сферические гранулы темно – бурого цвета сохраняют форму двояковогнутого диска после сушки, видимых изменений не наблюдается. Прочность – 5000 г; при 200°C происходит выделение отвердителя,

на гранулах появляется белый налет, прочность составляет порядка 4802 г; при 300°C гранулы увеличиваются в размере, вспучиваются. Происходит резкое снижение прочности до 2100 г, связанное с преобразованием магнетитового ядра в сферическую форму; при 400-500°C гранулы продолжают вспучиваться и достигают своего максимального значения 0,59-0,61 мм, прочность при этом колеблется от 1810 до 2510 г; при прохождении 500°C гранулы стабилизируются, прочность составляет 2565 г; при 700°C гранулы сжимаются, начинают видоизменять свою форму, прочность падает до 1370 г; при 800°C гранулы заметно деформируются, уменьшаются в размере, прочность – 1330 г.

Из этого следует, что при постепенном нагревании до 600°C магнетитовое ядро наиболее устойчиво. При этом каких-либо видимых изменений формы и прочности не наблюдается.

Выводы

Проведенные исследования показали, что в технологическом процессе получения магнетитового ядра концентрация отвердителя является одним из важнейших факторов, определяющих его технические характеристики. Отмечено, что наиболее прочные гранулы были получены при концентрации отвердителя в диапазоне от 15 до 20% масс. Процесс

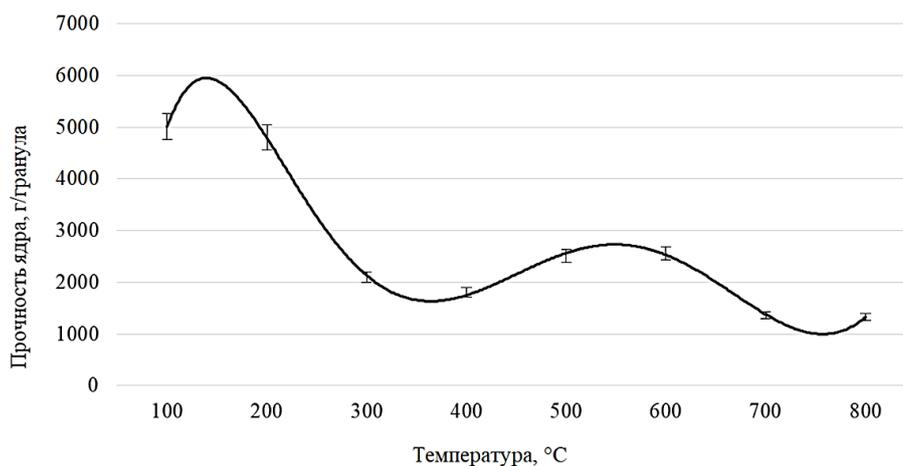


Рис. 6. Влияние температуры термообработки на прочность магнетитового ядра
 Fig. 6. Dependence the heat treatment temperature on the magnetite core strength

термообработки полученных гранул должен характеризоваться равномерным увеличением температуры, не превышающей 600°C.

Таким образом, поставленная цель исследования достигнута, а полученные данные являются основой для дальнейшего изучения способа повышения прочности магнетитовых гранул, а также процессов их внедрения в состав нефтепоглощающих сорбентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Adams V.L., Haywood M., Ismail S. (2023). Environmental law review 2023 quarterly comment by trinity chambers // *Environmental Law Review*. 2023. № 25(2). Pp. 162–192. DOI: 10.1177/14614529231177860.
- Marshall B. K. Globalisation, Environmental Degradation and Ulrich Beck's Risk Society // *Environmental Values*. 1999. № 8(2). Pp. 253–275. DOI: 10.1177/096327199900800208.
- Siljeholm J. Treatment of Organic Water Contaminants in Oil Refinery Effluents Investigated By Using a Simulation Model. *Toxicology and Industrial Health*. 1996. № 12(5). Pp. 697–721. DOI: 10.1177/074823379601200508.
- Акимова А. С., Филиппова Л. С. Проблема загрязнения поверхностных и сточных вод нефтью и нефтепродуктами и пути ее решения // *МНИЖ*. 2023. № 3 (129).
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году». М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022. 684 с.
- Береснев А. В., Котлярова В. В. Загрязнение природных вод и способы их очистки // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2017. Т. 39. С. 776–780.
- О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2021. 1000 с.

- Шайхiev И. Г. [и др.] Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревообработки. Белгород, 2018. 139 с.

- Байбурдов Т. А., Шиповская А. Б. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор русскоязычной литературы за 2000-2017 гг. (часть 3) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т.18. Вып. 3. С. 285–298.

- Якубовский С. Ф. [и др.] Получение сорбента для сбора нефти и нефтепродуктов при их разливах путем утилизации отходов агропромышленного комплекса // *Вестник полочского государственного университета*. 2017. Серия В. № 11. С. 84–89.

- Черепова А. Е., Ушакова Е. С. Ликвидация аварийных разливов нефти при помощи магнитного нефтесорбента // Молодежная программа 24-ой международной специализированной онлайн выставки «безопасность и охрана труда» БИОТ-2020. Москва, 08–11 декабря 2020 года. 4 с.

- Oh S-Y, Sohn J-I. Energy recovery and waste treatment using the co-pyrolysis of biomass waste and polymer. *Waste Management & Research*. 2022. № 40(11). Pp. 1637–1644. DOI: 10.1177/0734242X221087845.

- Ушакова Е. С., Черепова А. Е. Влияние режима термообработки на создание магнетитового ядра для магнитных нефтесорбентов // *Нефтехимия – 2020: материалы III Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке*. Минск : БГТУ, 2020. С. 193–197.

- Классен П. В. [и др.] Гранулирование. Москва : Химия, 1991. 240 с.

- Классен П. В., Гришаев И. Г. Основы техники гранулирования. Москва : Химия, 1982. 272 с.

- Сковородников П. В., Черепанова М. В.

Особенности гранулирования органоминеральных удобрений методом окатывания // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. № 9. С. 51–59.

17. Левченко А. А., Ушакова Е. С. Разработка магнетитового ядра для получения магнитных сорбентов / А. А. Левченко, Е. С. Ушакова // X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия Молодая» (24–27 апреля

2018 г.) Кемерово : КузГТУ, 2018.

18. Соловьева Л. В., Ушакова Е. С. Влияние введения минеральных присадок на изменение статистической прочности на истирание углеродных нефтесорбентов // XIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия Молодая» (20–23 апреля 2021 г.) Кемерово : КузГТУ, 2021.

© 2025 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:

Ушакова Елена Сергеевна, кандидат техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: brels@list.ru

Ушаков Андрей Геннадьевич, кандидат техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: elliat@mail.ru

Шурдова Анастасия Евгеньевна, студент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: nastya.shurdova@mail.ru

Романова Анастасия Евгеньевна, магистрант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: nastyach.httt@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Ушакова Елена Сергеевна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Ушаков Андрей Геннадьевич – обзор соответствующей литературы, проведение лабораторных исследований, анализ данных, выводы, написание текста.

Шурдова Анастасия Евгеньевна – обзор соответствующей литературы, проведение лабораторных исследований, анализ данных, выводы, написание текста.

Романова Анастасия Евгеньевна – обзор соответствующей литературы, проведение лабораторных исследований, анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DEVELOPMENT OF MAGNETITE CORE SORBENTS FOR PURIFICATION OF AQUEOUS MEDIA FROM CONTAMINANTS

Elena S. Ushakova, Andrey G. Ushakov *,
Anastasia E. Shurdova, Anastasia E. Romanova

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: uag.httt@kuzstu.ru



Article info

Received:

14 June 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

Abstract.

The article proposes a solution to two of the most urgent environmental problems in Russia. The first one is accumulation of a large amount of excessive activated sludge, which is stored on sludge maps and occupies significant territories. The second is the problem of cleaning water spaces from oil and oil products. The purpose of this study is to develop a core for cleaning of contaminants from the water surface on the example of oil sorbent. Within the framework of the work were used such research methods as experiment, generalization of the obtained data comparative analysis.

For this purpose, magnetite core and magnetic sorbent were obtained in

Accepted:
30 January 2025

Published:
12 March 2025

Keywords: magnetic sorbent, oil sorbent, magnetite core, magnetite, excess activated sludge, oil spill cleanup

laboratory conditions, their technical characteristics were determined. According to the results of the study, a comparative analysis of the obtained data was carried out. As a result, the factors influencing the strength of magnetite nucleus were revealed. For example, magnetite core from synthetic magnetite does not need additional heat treatment. But at the same time thermal treatment is necessary for cores from coal combustion ashes As the hardener concentration increases, the strength of magnetite core increases. However, the static strength decreases with concentration above 20%. The optimal mode of heat treatment is gradual heating up to 600°C, because at this temperature the magnetite core is stable.

For citation: Ushakova E.S., Ushakov A.G., Shurdova A.E., Romanova A.E. Development of magnetite core sorbents for purification of aqueous media from contaminants. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 7(167):79-86. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-79-86, EDN: HBWMYY

REFERENCES

- Adams V.L., Haywood M., Ismail S. Environmental law review 2023 quarterly comment by trinity chambers. *Environmental Law Review*. 2023; 25(2):162–192. DOI: 10.1177/14614529231177860.
- Marshall B. K. Globalisation, Environmental Degradation and Ulrich Beck's Risk Society. *Environmental Values*. 1999; 8(2):253–275. DOI: 10.1177/096327199900800208
- Siljeholm J. Treatment of Organic Water Contaminants in Oil Refinery Effluents Investigated By Using a Simulation Model. *Toxicology and Industrial Health*. 1996; 12(5):697–721. DOI: 10.1177/074823379601200508.
- Akimova A.S. Problema zagryazneniya poverhnostnykh i stochnykh vod neftyu i nefteproduktami I puti resheniya. *MNIZ*. 2023; 3(129).
- State report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2021". M.: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University; 2022.
- Beresnev A.V., Kotlyarova V.V. Zagryaznenie prirodnykh vod i sposoby ikh ochistki. *Nauchno-metodicheskii elektronnyy zhurnal «Kontsept»*. 2017; 39:776–780.
- O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu. Gosudarstvennyy doklad. M.: Minprirody Rossii; MGU imeni M.V. Lomonosova; 2021.
- Shaykhiev I.G. [et al.] Adsorbtsionnaya ochistka vodnykh obektov ot nefti s ispolzovaniem modifitsirovannykh otkhodov derevoobrabotki. Belgorod; 2018.
- Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. Polimernye sorbenty dlya sbora nefteproduktov s poverkhnosti vodoemov: obzor russkoyazychnoy literatury za 2000–2017 gg. (chast' 3). *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya*. 2018; 18(3):285–298.
- Yakubovskiy S.F. [et al.] Poluchenie sorbenta dlya sbora nefti i nefteproduktov pri ikh razlivakh putem utilizatsii otkhodov agropromyshlennogo kompleksa. *Vestnik polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017; Seriya V(11):84–89.
- Cherepova A.E., Ushakova E.S. Likvidatsiya avariynnykh razlivov nefti pri pomoshchi magnitnogo neftesorbenta. *Molodezhnaya programma 24-oy mezhdunarodnoy spetsializirovannoy onlayn vystavki «Bezopasnost i okhrana truda» BIOT-2020*. Moskva, December 08–11, 2020.
- Oh S-Y., Sohn J-I. Energy recovery and waste treatment using the co-pyrolysis of biomass waste and polymer. *Waste Management & Research*. 2022; 40(11):1637–1644. DOI: 10.1177/0734242X221087845
- Ushakova E.S., Cherepova A.E. Vliyanie rezhima termoobrabotki na sozdanie magnetitovogo yadra dlya magnitnykh neftesorbentov. *Neftekhimiya – 2020: materialy III Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke*. Minsk: BGТУ; 2020.
- Klassen P.V. [et al.] Granulirovanie. Moskva: Khimiya; 1991. 240 P.
- Klassen, P.V., Grishaev I.G. Osnovy tekhniki granulirovaniya. Moskva: Khimiya; 1982. 272 P.
- Skovorodnikov P.V., Cherepanova M.V. Osobennosti granulirovaniya organomineral'nykh udobreniy metodom okatyvaniya. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurcov*. 2019; 9:51–59.
- Levchenko A.A., Ushakova E.S. Razrabotka magnetitovogo yadra dlya polucheniya magnitnykh sorbentov. *X Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh «Rossiya Molodaya»*. April, 24–27, 2018. Kemerovo: KuzGTU; 2018.
- Soloveva L.V., Ushakova E.S. Vliyanie vvedeniya mineralnykh prisadok na izmenenie statisticheskoy prochnosti na istiranie uglerodnykh neftesorbentov. *XIII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh «Rossiya Molodaya»*. April, 20–23, 2021. Kemerovo: KuzGTU; 2021.

© 2025 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:

Elena S. Ushakova – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; e-mail: brels@list.ru

Andrey G. Ushakov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; e-mail: elliat@mail.ru

Anastasia E. Shurdova – student, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; e-mail: nastya.shurdova@mail.ru

Anastasia E. Romanova – student, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; e-mail: nastyach.httt@mail.ru

Contribution of the authors:

Elena S. Ushakova – formulation of a research task, scientific management, statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Andrey G. Ushakov – statement of research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Anastasia E. Shurdova – research problem statement, research conceptualisation, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

Anastasia E. Romanova – research problem statement, research conceptualisation, data analysis, summarising, writing, review of current literature, data collection.

All authors have read and approved the final manuscript.

