

Технология получения модифицированных нефтесорбентов

Рами Мэжри	¹	mezhuri@inbox.ru	 0000-0002-4165-687X
Юрий С. Перегудов	¹	inorganic_033@mail.ru	 0000-0003-2129-3191
Елена М. Горбунова	¹	lobanova8686@gmail.com	 0000-0002-3550-0115

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Обоснована и экспериментально доказана целесообразность использования природного материала глауконита как основы для производства экологически чистого сорбента с гидрофобными и магнитными свойствами для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов механически и с помощью магнитного поля. Изучен фракционный, элементный и оксидный составы исходного минерала. Исследована структура фракции глауконита 0,045 – 0,1 мм методом просвечивающей электронной микроскопии. Установлено, что поверхность частиц образца неоднородна с большим числом пор и трещин. На основании экспериментальных данных определены оптимальные условия получения и применения порошкового и гранулированного сорбентов на основе глауконита с заданными свойствами, при которых наблюдается высокая степень извлечения (более 90%) нефти с водной и твердой поверхностей. Оптимальная температура получения магнитного нефтяного сорбента составляет 400 °С. Установлены дозы внесения стеариновой кислоты и оксида железа (III), составляющие 5 мас. %, которые обеспечивают гидрофобность и магнитные свойства синтезируемому сорбенту. Высокая степень извлечения нефти (97%) и масла (98%) при использовании сорбента достигается при соотношении его к сорбату 1:10. Для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов предлагается использовать гранулированные ферромагнитные сорбенты, полученные введением в состав модифицированного глауконита карбоксиметилцеллюлозы. Сорбционная способность по нефти и нефтепродуктам гранулированного сорбента увеличивается по сравнению с исходным минералом в 1,2–2,2 раза. Разработаны технологические схемы получения ферромагнитных гидрофобного и гранулированного сорбентов на основе глауконита для сбора нефти и нефтепродуктов с водной и твердой поверхностей. Синтезированные сорбенты характеризуются высокой эффективностью, низкой себестоимостью, экологичностью.

Ключевые слова: глауконит, активация, модифицирование, гидрофобный агент, технология нефтесорбентов

Technology for obtaining modified oil sorbents

Rami Mejri	¹	mezhuri@inbox.ru	 0000-0002-4165-687X
Yurii S. Peregudov	¹	inorganic_033@mail.ru	 0000-0003-2129-3191
Elena M. Gorbunova	¹	lobanova8686@gmail.com	 0000-0002-3550-0115

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Expediency of using natural glauconite material as a basis for the production of an environmentally friendly sorbent with hydrophobic and magnetic properties for liquidating oil and oil products spills mechanically and using a magnetic field has been substantiated and experimentally proved. Fractional, elemental and oxide compositions of the original mineral have been studied. The structure of glauconite fraction 0.045–0.1 mm has been investigated by transmission electron microscopy. It was found that the surface of the sample particles is heterogeneous with a large number of pores and cracks. Based on the experimental data, the optimal conditions for the production and use of powder and granular sorbents based on glauconite with specified properties were determined, at which a high degree of recovery (more than 90%) of oil with water and hard surfaces. The optimum temperature for obtaining a magnetic oil sorbent is 400 °C. The doses of stearic acid and iron (III) oxide were established at 5 wt. %, which provide hydrophobicity and magnetic properties to the synthesized sorbent. A high degree of oil (97%) and oil (98%) recovery when using a sorbent is achieved at a ratio of 1: 10 to sorbate. To eliminate oil and oil product spills, it is proposed to use granular ferromagnetic sorbents obtained by introducing carboxymethyl cellulose into the modified glauconite composition. oil and oil products granular sorbent increases in comparison with the original mineral by 1.2–2.2 times. Technological schemes for obtaining ferromagnetic hydrophobic and granular sorbents based on glauconite for collecting oil and oil products from water and solid surfaces have been developed. The synthesized sorbents are characterized by high efficiency, low cost, and environmental friendliness.

Keywords: glauconite, activation, modification, hydrophobic agent, oil sorbent technology

Введение

Большое внимание уделяется проблемам экологии, связанным с разливами нефти и нефтепродуктов. В настоящее время для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов применяется большое количество углеродных и минеральных сорбентов [1–3]. Наиболее действенными средствами, поглощающими нефть и нефтепродукты, являются минеральные

сорбенты на основе силикагелей, алюмогелей, цеолитов, к числу которых относится и глауконит, используемый в процессах водоочистки от неорганических и органических веществ, благодаря своей слоистой структуре. Его разбухающие слои способны поглощать жидкие и газообразные вещества из окружающей среды и удерживать их в межслоевом пространстве. Кроме того, глауконит обладает катионообменной способностью и сорбционными свойствами [4–10].

Для цитирования

Мэжри Р., Перегудов Ю.С., Горбунова Е.М. Технология получения модифицированных нефтесорбентов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 247–253. doi:10.20914/2310-1202-2020-4-247-253

For citation

Mejri R., Peregudov Yu.S., Gorbunova E.M. Technology for obtaining modified oil sorbents. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 247–253. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-4-247-253

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Учитывая характеристики глауконита (доступность, структура, химический состав и сорбционные свойства), его можно применять как основу для создания новых композиционных сорбентов, которые могут применяться для удаления нефтяных пленок с водных поверхностей

Практически все сорбенты на основе природных минералов мало держатся на водной поверхности, поглощают воду и быстро тонут. Поэтому для уменьшения водопоглощения и смачиваемости поверхности минеральных сорбентов их модифицируют гидрофобными агентами [11,12]. Для сорбции нефти используют порошкообразные, гранулированные, брикетированные, волокнистые компоненты. Одни виды сорбентов удобнее использовать для сбора нефти с водной, другие с твердой поверхностей [13].

Сорбенты с магнитными свойствами широко использовались для удаления загрязняющих воду веществ, в частности для устранения органических загрязнений (красителей, хлорированных углеводородов, ароматических веществ), пестицидов, а также тяжелых металлов [14–17]. Магнитные сорбенты на основе терморасширенного графита исследовались в процессах сорбции нефтепродуктов. Представляют интерес магнитные сорбенты со структурой ядро-оболочка, которые получают путем нековалентной или ковалентной иммобилизации различных неорганических или органических соединений на поверхности наночастиц оксидов железа [18]. Методом эмульсионной полимеризации были получены нанокомпозиты Fe_3O_4 -полистирол, которые могут поглощать дизельное топливо в 2,5 раза больше собственного веса [19].

Целью работы являлось получение порошкообразного гидрофобного и гранулированного нефтяных сорбентов на основе глауконита и разработка технологических схем их производства.

Материалы и методы

Объектом исследования являлся глауконит Каринского месторождения Кунашакского района Челябинской области. Это минерал из группы сложных калийсодержащих водных алюмосиликатов зеленоватого цвета.

В качестве загрязнителей использовались нефть II и синтетическое масло Castrol (5w-40).

Для определения гранулометрического состава применялся ситовый анализ. Просеивание осуществлялось через набор стандартных нормированных сит с разными отверстиями. По окончании отсева каждую фракцию взвешивали.

Результаты ситового анализа представлены на рисунке 1, из которого видно, что размеры частиц глауконита колеблются в пределах от 0,045 до 0,25 мм.

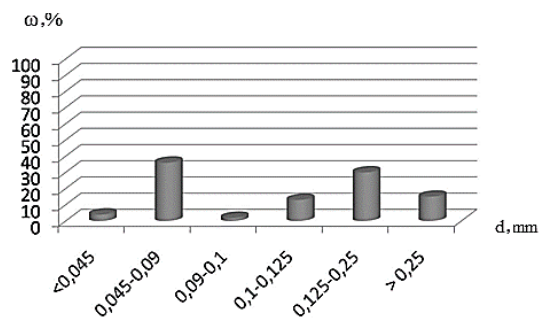


Рисунок 1. Гистограмма распределения частиц глауконита по размерам (d – диаметр отверстия сита, ω, % – массовая доля фракций глауконита)

Figure 1. Histogram of the size distribution of glauconite particles (d – diameter of the sieve opening, ω, % – mass fraction of glauconite fractions)

По фракционному составу частицы глауконита делятся на три группы:

- 1) наибольший процент приходится на частицы глауконита, размер которых варьируется от 0,125 до 0,25 мм, что соответствует 31,62% от общей массы образца;
- 2) доля частиц размером от 0,045 до 0,09 мм составляет 25,57% от общей массы образца;
- 3) фракция размером 0,2 мм составляет 15,34% от общей массы.

Структуру и размер частиц порошкового материала глауконита исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии в светлопольном и темнопольном режимах (Libra 120), методом растровой электронной микроскопии (JSM-6380LV), методом динамического светорассеяния (Zetasizer Nano ZSP) с оптикой неинвазивного обратного рассеяния NIBS.

В ходе эксперимента определено, что глауконит обладает гетерогенным внутренним строением. Как видно из микрофотографии (рисунок 2), поверхность глауконита неоднородная, неровная, шероховатая, в ней присутствуют микро-, мезо- и макропоры, полости, трещины. По структуре и составу глауконит близок к текстуре слюды и имеет слоистое строение.

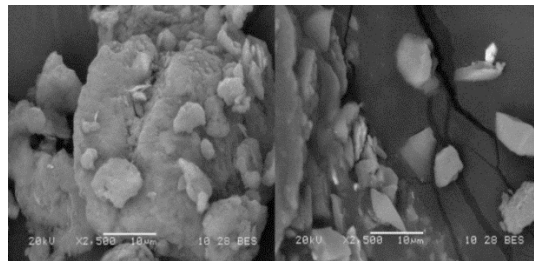


Рисунок 2. Микрофотография поверхности глауконита
Figure 2. Micrograph of the surface of glauconite

В результате рентгено-флуоресцентного исследования образца было выявлено наличие 17 элементов в составе глауконита, основную часть которого представляют кислород и кремний (таблица 1).

Ранее нами было определено, что лучшие результаты по сорбции нефтепродуктов показала фракция глауконита с размером частиц 0,045–0,1 мм, и показано, что термическая активация глауконита ведёт к снижению его водопоглощения и увеличению его нефтепоглощения [20].

Таблица 1.
Химический состав глауконита с учетом содержания воды

Table 1.
Chemical composition of glauconite taking in to account the water content

Химический элемент Chemical element	Концентрация, мас. % Concentration, mass. %
O	46,88%
Na	0,14%
Mg	1,41%
Al	4,89%
Si	30,76%
P	0,35%
S	0,01%
Cl	0,02%
K	2,99%
Ca	1,53%
Ti	0,37%
Mn	0,02%
Fe	10,57%
Zn	0,01%
Rb	0,02%
Sr	0,02%
Zr	0,01%
ИТОГО / TOTAL	100,00%

Термическая активация образцов глауконита (фракция от 0,045 до 0,1 мм) с 5 мас. % Fe_2O_3 осуществлялась в электропечи ЭКПС-10 при температуре 400 °С.

С целью получения плавающих сорбентов использовался метод гидрофобизации. Для создания гидрофобных сорбентов, образцы глауконита нагревали до температуры 69,6 °С в течение 2 часов и добавляли стеариновую кислоту в количестве 5 мас. % при перемешивании. Стеариновая кислота – это насыщенная высшая жирная кислота, представляющая собой твёрдое

кристаллическое вещество белого цвета, которое не имеет вкуса, запаха и не растворяется в воде, растворима в эфире. Температура плавления и кипения -69,6 и 376,1 °С соответственно [20].

Для создания магнитного гранулированного сорбента к исходному образцу глауконита (фракция от 0,045 до 0,1 мм) добавляли Fe_2O_3 в количестве 5 мас. %, затем полученное вещество термически активировали в печи в течение 2 часов при температуре 400 °С, далее добавляли целлюлозный компонент – натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) в количестве 5 мас. %, предварительно смешанную с водой. Полученное вещество продавливали через гранулятор диаметром отверстий 3 мм.

При исследовании нефтепоглощения сорбента использовали методику ТУ 216400174347883–2006.

Нефтепоглощение (А, %) рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(P_m - P_o)}{P_o} \times 100\%,$$

где P_t – вес сорбента после погружения в нефть (г); P_o – первоначальный вес сорбента (г); А – нефтепоглощение.

Степень извлечения нефтепродукта из воды Е рассчитывали по формуле:

$$E = \frac{(m_{исх} - m_{равн})}{m_{исх}} \times 100\%.$$

где $m_{исх}$ – масса нефти в исходной воде, г/г; $m_{равн}$ – равновесная (остаточная) масса в фильтрате, установленном в воде; g – масса сухого сорбента, г; V – объем воды, см³.

Результаты и обсуждение

Определена оптимальная масса гидрофобного ферромагнитного сорбента, необходимой для максимального извлечения нефти и моторного масла из пленки толщиной 0,5 мм и площадью 112 см² (рисунки 3, 4).

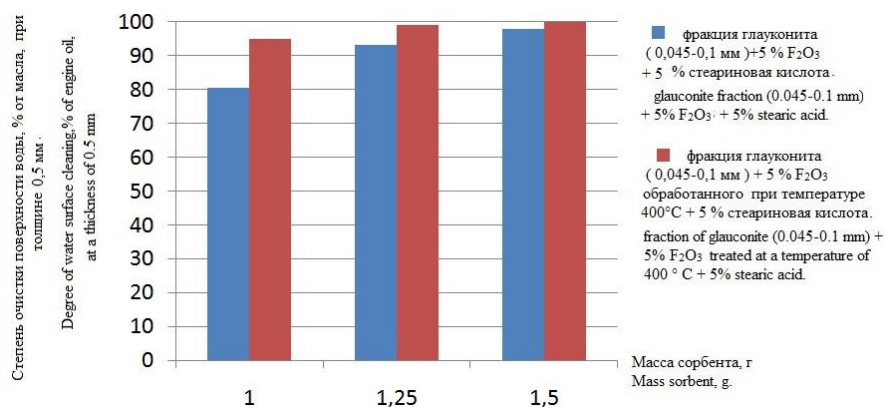


Рисунок 3. Зависимость степени извлечения масла с водной поверхности от массы сорбента
Figure 3. Dependence of the degree of oil extraction from the water surface on the mass of the sorbent

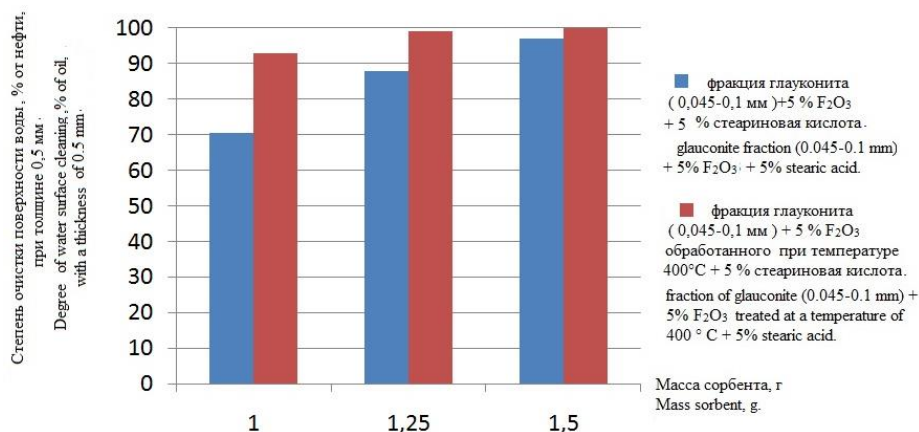


Рисунок 4. Зависимость степени извлечения нефти с водной поверхности от массы сорбента

Figure 4. Dependence of the degree of oil recovery from the water surface on the mass of the sorbent

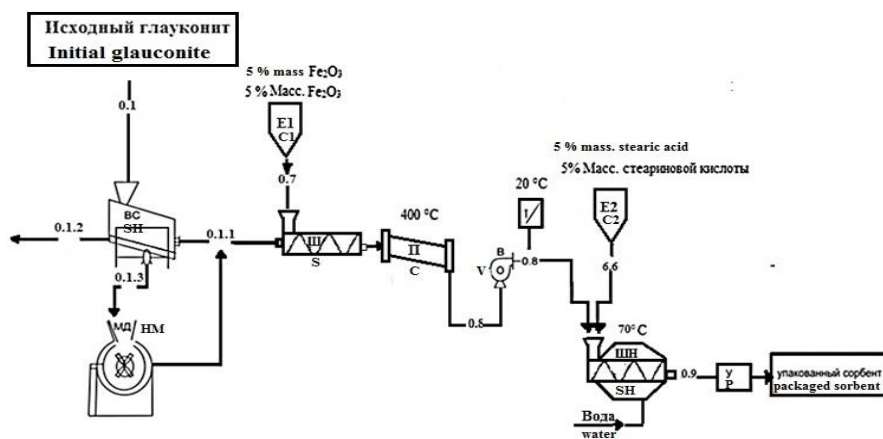
Из графиков 3–4 видно, что степень извлечения нефти и масла составляет 97 и 98% соответственно. Высокая степень извлечения достигнута при использовании сорбента массой 1,5 г.

Разработана технологическая схема производства гидрофобного ферромагнитного сорбента для удаления нефти и нефтепродуктов с водной поверхности, представленная на рисунке 3.

Исходное сырье – глауконит – подают на вибросита для классификации. Фракция с размером частиц более 0,1 мм направляется на измельчение в молотковую дробилку (МД), с размером менее 0,045 мм на переработку.

После классификации и дробления, глауконит (фракция 0,045–0,1 мм) направляется

в шнековый смеситель (Ш), где смешивается с магнитной добавкой Fe₂O₃, поступающей из емкости (Е1). Далее осуществляют процесс термической активации в прокалочной печи при t = 400 °C в течение 2 часов. Активированный глауконит с магнитной добавкой охлаждают вентилятором (В) и направляют в шнек-нагреватель (ШН), снабженный рубашкой для поддержания заданной температуры. В шнековый нагреватель (ШН) подают стеариновую кислоту из емкости (Е2) и осуществляют процесс гидрофобизации сорбента при t = 69,6 °C. Стеариновая кислота плавится и при перемешивании равномерно покрывает поверхность частиц сорбента. Готовый гидрофобный сорбент с магнитными свойствами отправляется на упаковку (У).



УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ CONVENTIONAL DESIGNATION	НАИМЕНОВАНИЕ NAME
МД (НМ)	дробилка молотковая (hammermill)
ВС (Ш)	Вибросито (shaker)
П (С)	прокалочная печь (calcining furnace)
В (В)	вентилятор (ventilator)
Ш (С)	шнековый смеситель (screw mixer)
ШН (Ш)	шнек-нагреватель (screw heater)
Е1 (С1)	емкость с Fe ₂ O ₃ (container with Fe ₂ O ₃)
Е2 (С2)	емкость со стеариновой кислотой (container with stearic acid)
У (П)	упаковка (packaging)
Т (ТН)	термометр (thermometer)
УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ CONVENTIONAL DESIGNATION	НАИМЕНОВАНИЕ NAME
0.1.1	глауконит фракцией 0,045-0,1 мм (glauconite fraction 0.045-0.1 mm)
0.1	глауконит (glauconite)
0.9	магнитный гидрофобный сорбент (magnetic hydrophobic sorbent)
0.7	Fe ₂ O ₃
0.8	термоактивированный глауконит с Fe ₂ O ₃ (thermally activated glauconite with Fe ₂ O ₃)
0.1.2	фракция глауконита < 0.045 мм (the fraction of glauconite < 0.045 mm)
6.6	стеариновая кислота (stearic acid)
0.1.3	фракция глауконита > 0.1 мм (the fraction of glauconite > 0.1 mm)

Рисунок 5. Технологическая схема получения гидрофобного ферромагнитного сорбента на основе глауконита для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды

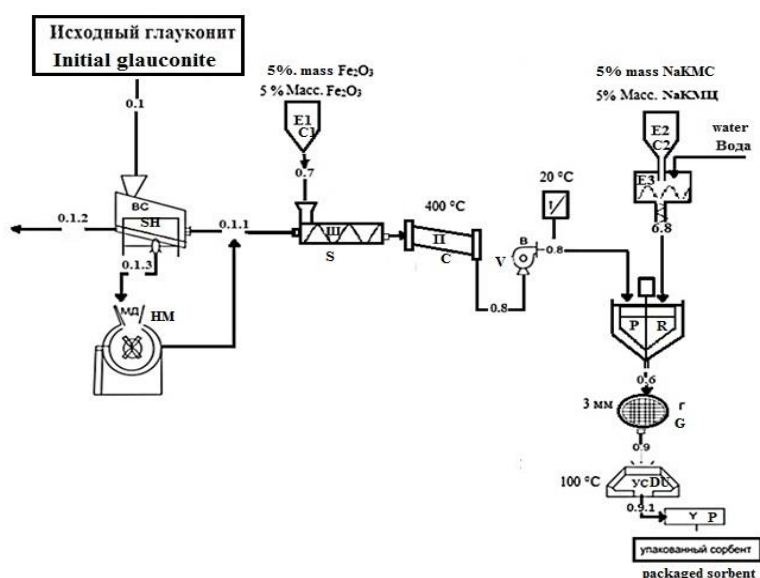
Figure 5. Technological scheme for obtaining a hydrophobic ferromagnetic sorbent based on glauconite for collecting oil and petroleum products from the water surface

Предложено производство гранулированного ферромагнитного сорбента для сбора нефтепродуктов с твердой поверхности (рисунок 6). Стадии классификации, измельчения и внесения магнитного компонента аналогичны технологической схеме получения гидрофобного магнитного сорбента.

Целлюлозный компонент подается из ёмкости (E2) в ёмкость со шнеком (E3)

для смешивания с водой. Далее направляется в реактор с мешалкой (P) с активированным ферромагнитным глауконитом.

Полученную смесь пропускают через гранулятор (Г) диаметром 3 мм. Следовательно, гранулированная форма сорбента была получена в сушильной установке (УС). Готовый гранулированный сорбент с магнитными свойствами отправляется на упаковку.



УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ CONVENTIONAL DESIGNATION	НАИМЕНОВАНИЕ NAME
МД (HM)	дробилка молотковая (hammermill)
BC (SH)	Вибросито (shaker)
П (C)	прокалочная печь (calcining furnace)
В (V)	вентилятор (ventilator)
E1 (C1)	ёмкость с Fe ₂ O ₃ (container with Fe ₂ O ₃)
E2 (C2)	ёмкость с целлюлозным компонентом (container of the cellulose component)
E3 C3	ёмкость со шнеком (container with screw)
У (P)	упаковка (packaging)
Т (TH)	термометр (thermometer)
P (R)	реактор с мешалкой (reactor with agitator)
Ш (S)	шнековый смеситель (screw mixer)
Г (G)	гранулятор (granulator)
УС (DU)	установка сушильная (drying unit)
УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ CONVENTIONAL DESIGNATION	НАИМЕНОВАНИЕ NAME
0.1.1	глауконит фракцией 0,045-0,1 мм (glauconite fraction 0.045-0.1 mm)
0.1	глауконит (glauconite)
0.9.1	гранулированный магнитный сорбент (granulated magnetic sorbent)
0.7	Fe ₂ O ₃
0.8	термоактивированный глауконит с Fe ₂ O ₃ (thermally activated glauconite with Fe ₂ O ₃)
0.1.2	Фракция глауконита < 0,045 мм (the fraction of glauconite < 0.045 mm)
6.8	целлюлозный компонент (the cellulose component)
0.1.3	Фракция глауконита > 0,1 мм (the fraction of glauconite > 0.1 mm)
0.6	смесь глауконита с целлюлозным компонентом (a mixture of glauconite with a cellulose component)
0.9	влажный гранулированный глауконит (Wet granular glauconite)

Рисунок 6. Технологическая схема получения гранулированного ферромагнитного сорбента на основе глауконита для сбора нефти и нефтепродуктов с твердой поверхности

Figure 6. Technological scheme for obtaining a granulated ferromagnetic sorbent based on glauconite for collecting oil and petroleum products from a solid surface

Закключение

На основе природного материала получены сорбенты следующего состава в расчете на 100 г. глауконита: гидрофобный ферромагнитный – 5 г Fe₂O₃, 5 г C₁₇H₃₅ COOH; ферромагнитный гранулированный – 5 г Fe₂O₃, 5 г Na-КМЦ.

Сорбенты исследовались на плавучесть и извлечение нефти и нефтепродуктов.

Для гидрофобных сорбентов плавучесть составила более 92 часов. Степень извлечения нефти – 97, масла – 98%. Данные результаты показали эффективность предложенных сорбентов для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Разработаны технологические схемы получения сорбентов на основе глауконита с заданными свойствами для сбора нефти и нефтепродуктов.

Литература

- 1 Мерициди И.А., Ивановский В.Н., Прохоров А.Н. и др. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Справочник. СПб.: НПО «Профессионал», 2008. 824 с.
- 2 Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Институт риска и безопасности, 2007. 368 с.
- 3 Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 268 с.

- 4 Сухарев Ю.И., Кувыкина Е.А. Неорганические иониты и возможности их применения для очистки окружающей водной среды от техногенных загрязнений // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2001. № 4 (13). С. 63–67.
- 5 Сухарев Ю.И., Кувыкина Е.А. Использование глауконита уральского месторождения в процессах очистки воды от железа (II, III) // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2002. № 1 (14). С. 141–150.
- 6 Цыганкова Л.Е., Богданова Л.Е. Сорбция катионов железа (II) глауконитом ГБМТО из водных растворов // Вестник ТГУ. 2011. Т. 16. № 3. С. 838–842.
- 7 Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И. Извлечение фенола из водных растворов глауконитом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 4. С. 505–511.
- 8 Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И. Извлечение ионов меди (II) и фенола в проточном растворе глауконитом Бондарского района Тамбовской области // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. № 6. С. 930–937.
- 9 Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Морщинина И.В., Баженова Е.А. и др. Сорбция глауконитом ГБМТО катионов магния (II) // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18. № 5. С. 2810–2813.
- 10 Вигдорович В.И., Морщинина И.В., Цыганкова Л.Е. Сорбция глауконитом ГБМТО катионов кальция (II) // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18. № 6. С. 3182–3185.
- 11 Kelesoglu S., Volden S., Kes M., Sjoblom J. Adsorption of naphthenic acids onto mineral surfaces studied by quartz crystal microbalance with dissipation monitoring (QCM-D) // Energy Fuels. 2012. № 26 (8). P. 5060–5068.
- 12 Patowary M., Pathak K., Ananthakrishnan R. A facile preparation of superhydrophobic and oleophilic precipitated calcium carbonate sorbent powder for oil spill clean-ups from water and land surfaces // RSC Advances. 2015. № 5 (97). P. 79852–79859.
- 13 Семакина О.К., Якушева Ю.С., Шевченко А.А. Выбор способа гранулирования сорбентов из отходов производства // Фундаментальные исследования. 2013. № 8–3. С. 720–725.
- 14 Mehta D., Mazumdar S., Singh S.K. Magnetic adsorbents for the treatment of water/wastewater – a review // J. Water Process Eng. 2015. № 7. P. 244–265.
- 15 Singh B., Kumar S., Kishore B., Narayanan T.N. Magnetic scaffolds in oil spill applications // Environmental Science: Water Research & Technology. 2020. № 6 (3). P. 436–463.
- 16 Treijs J., Teirumnieks E., Mironovs V., Lapkovskis V. et al. Environment. Technology. Resources Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference. 2013. V. 1. P. 95–102.
- 17 Lutfullin M.A., Shornikova O.N., Vasiliev A.V., Pokholok K.V. et al. Petroleum products and water sorption by expanded graphite enhanced with magnetic iron phases // Carbon. 2014. № 66. P. 417–425.
- 18 Cornell R.M., Schwertmann U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. John Wiley & Sons, 2003. 664 p.
- 19 Yu L., Hao G., Gu J., Zhou S. et al. Fe₃O₄/PS magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization and their application as sorbents of oil from waste water // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2015. № 394. P. 14–21.
- 20 Нифталиев С.И., Перегудов Ю.С., Мокшина Н.Я., Мэжри Р. и др. Влияние термической активации глауконита на его влаго- и нефтёмкость // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 7. С. 42–47.


References

- 1 Mericidi I.A., Ivanovsky V.N., Prokhorov A.N. et al. Equipment and technologies for localization and elimination of emergency oil and oil product spills: Handbook. SPb., NPO "Professional", 2008. 824 p. (in Russian).
- 2 Vorobyov Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu. I. Prevention and elimination of emergency oil and oil product spills. Moscow, Institute of risk and safety, 2007. 368 p. (in Russian).
- 3 Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Oil sorbents. Moscow-Izhevsk, SIC "Regular and chaotic dynamics", 2005. 268 p. (in Russian).
- 4 Sukharev Yu. I., Kuvykina E.A. Inorganic ionites and their application for cleaning the surrounding water environment from technogenic pollution. Proceedings of the Chelyabinsk scientific center of UB RAS. 2001. no. 4 (13). pp. 63–67. (in Russian).
- 5 Sukharev Yu. I., Kuvykina E.A. The Use of glauconite Ural deposits in the processes of water purification from iron (II, III). Proceedings of the Chelyabinsk scientific center of UB RAS. 2002. no. 1 (14). pp. 141–150. (in Russian).
- 6 Tsygankova L.E., Bogdanova L.E. Sorption of cations of iron (II) glauconite GBMT from aqueous solutions. Vestnik TSU. 2011. vol. 16. no. 3. pp. 838–842. (in Russian).
- 7 Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Nikolenko D.V., Akulov A.I. extraction of phenol from aqueous solutions with glauconite. Sorption and chromatographic processes. 2010. vol. 10. no. 4. pp. 505–511. (in Russian).
- 8 Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Nikolenko D.V., Akulov A.I. Extraction of copper (II) and phenol ions in a flowing solution by glauconite of the Bondarsky district of the Tambov region. Sorption and chromatographic processes. 2011. vol. 11. no. 6. pp. 930–937. (in Russian).
- 9 Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Morshchinina I.V., Bazhenova E.A. et al. Sorption of magnesium (II) cations by glauconite GBMTO. Vestnik TSU. 2013. vol. 18. no. 5. pp. 2810–2813. (in Russian).
- 10 Vigdorovich V.I., Marinina V.I., Tsygankova L.E. Sorption of the glauconite GBMT cations calcium (II). Bulletin of the TSU. 2013. vol. 18. no. 6. pp. 3182–3185. (in Russian).
- 11 Kelesoglu S., Volden S., Kes M., Sjoblom J. Adsorption of naphthenic acids onto mineral surfaces studied by quartz crystal microbalance with dissipation monitoring (QCM-D). Energy Fuels. 2012. no. 26 (8). pp. 5060–5068.
- 12 Patowary M., Pathak K., Ananthakrishnan R. A facile preparation of superhydrophobic and oleophilic precipitated calcium carbonate sorbent powder for oil spill clean-ups from water and land surfaces. RSC Advances. 2015. no. 5 (97). pp. 79852–79859.


- 13 Semakina O.K., Yakusheva Yu.S., Shevchenko A.A. Choice of a method for granulating sorbents from production waste. *Fundamental research*. 2013. no. 8–3. pp. 720–725. (in Russian).
- 14 Mehta D., Mazumdar S., Singh S.K. Magnetic adsorbents for the treatment of water/wastewater – a review. *J. Water Process Eng.* 2015. no. 7. pp. 244–265.
- 15 Singh B., Kumar S., Kishore B., Narayanan T.N. Magnetic scaffolds in oil spill applications. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2020. no. 6 (3). pp. 436–463.
- 16 Treijs J., Teirumnieks E., Mironovs V., Lapkovskis V. et al. *Environment. Technology. Resources Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference*. 2013. vol. 1. pp. 95–102.
- 17 Lutfullin M.A., Shornikova O.N., Vasiliev A.V., Pokholok K.V. et al. Petroleum products and water sorption by expanded graphite enhanced with magnetic iron phases. *Carbon*. 2014. no. 66. pp. 417–425.
- 18 Cornell R.M., Schwertmann U. *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses*. John Wiley & Sons, 2003. 664 p.
- 19 Yu L., Hao G., Gu J., Zhou S. et al. Fe₃O₄/PS magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization and their application as sorbents of oil from waste water. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2015. no. 394. pp. 14–21.
- 20 Niftaliev S.I., Peregudov Yu.S., Mokshina N.Ya., Mejri R. et al. Influence of thermal activation of glauconite on its water and oil capacity. *Ecology and industry in Russia*. 2019. vol. 23. no. 7. pp. 42–47. (in Russian).

Сведения об авторах


Рами Мэжри аспирант, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mezhri@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4165-687X>

Юрий С. Перегудов к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, inorganic_033@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2129-3191>

Елена М. Горбунова к.х.н., кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobanova8686@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Rami Mejri postgraduate student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mezhri@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4165-687X>

Yurii S. Peregudov Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, inorganic_033@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2129-3191>

Elena M. Gorbunova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobanova8686@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/10/2020	После редакции 05/11/2020	Принята в печать 21/11/2020
Received 12/10/2020	Accepted in revised 05/11/2020	Accepted 21/11/2020