

Модификация шламов содового производства для получения нефтяных сорбентов

© 2018. Е. В. Калинина, к. т. н., доцент,
И. С. Глушанкова, д. т. н., профессор,
Л. В. Рудакова д. т. н., профессор, зав. кафедрой,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29,
e-mail: Kalininaelena1@rambler.ru

В настоящее время объём накопленных шламов содового производства составляет более 50 млн т, в связи с чем актуальным является вопрос их утилизации. В работе представлены результаты исследований по получению нефтяных сорбентов на основе шламов содового производства, основным компонентом которого является карбонат кальция. Реагентная модификация шламов содового производства позволяет получить материалы, обладающие сорбционной активностью к нефти и нефтепродуктам. Установлено, что нефтеёмкость образцов исходных шламов содового производства составляет по бензину 0,95; по моторному маслу – 0,9; по нефти – 0,75 г/г. Реагентная обработка шламов содового производства метилсиликатом натрия или метилсиликатом калия, увеличивает нефтеёмкость по бензину на 30%; по моторному маслу – на 80%; по нефти – на 73%. Полученные сорбенты могут быть использованы для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с твёрдых поверхностей. Для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности водных объектов могут быть рекомендованы шламы содового производства фракции менее 0,1 мм, полученные модификацией метилсиликатом натрия или метилсиликатом калия с рабочей дозой действующего вещества 1,5–1,8% мас. и нагреванием до температуры 90 °С. С использованием результатов данных исследований могут быть решены две природоохранные задачи: получены новые нефтяные сорбенты и предложен способ утилизации шламов содового производства. Стоимость нефтяных сорбентов на основе отходов будет невысокой, за счёт нулевой стоимости исходного сырья – отходов содового производства.

Ключевые слова: нефтепродукты, нефтеёмкость, карбонат кальция, метилсиликат натрия, метилсиликат калия.

Modification of the sludge from soda production for producing oil sorbents

© 2018. E. V. Kalinina, I. S. Glushankova, L. V. Rudakova,
Perm National Research Polytechnic University,
29 Komsomolskiy Prospect, Perm, Russia, 614990,
e-mail: Kalininaelena1@rambler.ru

At present, the volume of accumulated sludge from soda production is more than 50 million tons and the issue of their utilization is topical. The paper presents the results of studies on the production of oil sorbents based on soda production sludge, the main component of which is calcium carbonate. Reagent modification of sludge from soda production allows obtaining materials that have sorption activity to oil and petroleum products. It is established that the oil capacity of samples of initial sludge of soda production is 0.95 for gasoline; on engine oil – 0,9; for oil – 0.75 g/g. Reagent treatment of soda production sludge by sodium methylsilicate or potassium methylsilicate increases the petroleum capacity on gasoline by 30%; on engine oil – by 80%; for oil – by 73%. Obtained sorbents can be used for liquidation of oil and oil product spills from solid surfaces. For the liquidation of oil and oil product spills from the surface of water bodies, soda production sludge of less than 0.1 mm fraction obtained by modification with sodium methyl silicate or potassium methylsilicate with a working dose of 1.5–1.8% by weight of active substance and heating to a temperature of 90 °C may be recommended. Based on the results of the research, two environmental objectives can be achieved: new oil sorbents are obtained and a method for the utilization of sludge from soda production is proposed. The cost of oil sorbents based on waste will be low, due to the zero cost of the raw materials – waste products of soda production.

Keywords: oil products, sorption capacity for oil, calcium carbonate, sodium methylsilicate, potassium methylsilicate.

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов ликвидируют с применением механических, термических, физико-химических и биологических методов, часто используемых в комплексе [1, 2]. Сорбционный способ ликвидации разливов нефти является одним из наиболее распространённых. Наиболее важными технологическими свойствами нефтяных сорбентов являются: нефтеёмкость, скорость поглощения нефти и плавучесть (при ликвидации аварийных разливов с поверхности водных объектов) [3–11]. Существенным фактором при выборе сорбента является его стоимость, снижение которой можно обеспечить, используя в качестве сырья для производства сорбентов отходы. Работы в данном направлении поддерживаются Стратегией развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. (утверждён распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 г. № 84-р). В Стратегии определён курс на ресурсосбережение, возврат в производство вторичных ресурсов, уменьшение количества образующихся отходов, создание комплексной системы экологически безопасного обращения с отходами, включая их обязательную обработку, утилизацию и обезвреживание.

Одним из видов не утилизируемых крупнотоннажных отходов является шлам содового производства (ШСП), образующийся в производстве кальцинированной соды аммиачным способом (методом Сольве) при отстаивании дистиллерной жидкости в отстойниках – шламонакопителях. На двух действующих в РФ предприятиях по производству соды аммиачным способом накоплено более 50 млн т шламов, основным компонентом которого является карбонат кальция.

Поскольку кальцийсодержащие реагенты применяют для капсулирования нефти и нефтепродуктов [12–14], представляло интерес изучить возможность использования для этих целей ШСП, а также получения на их основе нефтяных сорбентов.

Известно, что нефтяные сорбенты, применяемые для ликвидации аварийных разливов нефти на водную поверхность, должны обладать высокой плавучестью и гидрофобностью. Для получения материалов с заданными свойствами используют различные способы их обработки: гранулирование, измельчение, формование для придания нужной формы и размеров; термическое, электромагнитное и реагентное воздействие; гидрофобизацию и гидрофилизацию [15–22].

Карбонат кальция – основной компонент ШСП – подобно другим неорганическим природным материалам таким, как глины, алюмосиликаты, является гидрофильным материалом и для получения модифицированных нефтяных сорбентов на его основе в работе использован метод гидрофобизации.

Анализ научно-технической информации показал, что эффективными гидрофобизаторами являются кремнийорганические жидкости (органосилоксаны), молекулы которых имеют связь между атомами кремния и кислорода -Si-O-Si-, а боковые группы содержат углеводородные радикалы, связанные с атомом кремния. При контакте с твёрдой гидрофильной поверхностью полярные группы кремнийорганических соединений взаимодействуют с поверхностью материала, а гидрофобные углеводородные радикалы ориентируются на внешней поверхности, формируя тонкую водоотталкивающую плёнку, ненарушающую воздухопроницаемость материала.

Цель настоящей работы – определение способов и условий модификации шламов содового производства с получением нефтяных сорбентов.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являлись: шламы содового производства различного срока хранения и гранулометрического состава, модифицированные шламы содового производства.

Образцы шламов содового производства были отобраны в отстойниках-шламонакопителях АО «Березниковский содовый завод»:

– образец № 1 – ШСП текущего выхода, крупнофракционный, белого цвета с чёрными включениями (отстойник-шламонакопитель № 2);

– образец № 2 – ШСП, размещённый около 5 лет назад, крупнофракционный, белого цвета с чёрными включениями (отстойник-шламонакопитель № 2);

– образец № 3 – ШСП, сформировавшийся на границе зеркала воды, мелкодисперсный, пастообразный, белого цвета (отстойник-шламонакопитель № 2);

– образец № 4 – ШСП, размещённый около 45–50 лет назад, крупнофракционный, белого цвета с чёрными включениями (отстойник-шламонакопитель № 1).

Модификация ШСП осуществлялась путём термического воздействия в интервале

температур 20–900 °С с выдержкой при заданной температуре в течение 30 мин и обработкой кремнийорганическими жидкостями с различным содержанием активного компонента. В качестве кремнийорганических жидкостей были выбраны «Аквасил», изготовленный по ТУ 2229-003-60543126-2014 (35–45%-ый водный раствор метилсиликоната калия) и «ГКЖ-11 П», изготовленный по ТУ 2229-092-40245042-2004 (25–30%-ый водный раствор метилсиликоната натрия).

Физико-химические свойства ШСП и модифицированных нефтяных сорбентов определяли по общепринятым утверждённым методикам выполнения измерений в водной вытяжке 1:10.

Сравнение фактического содержания водорастворимых примесей в водной вытяжке из ШСП с нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) проводили с учётом требований: Приказа Минсельхоз РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»; СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов»; СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».

Исследование фазового состава образцов выполнено с использованием рентгеновского дифрактометра XRD-7000 фирмы «Shimadzu», обработка рентгенограмм производилась с использованием программного обеспечения «XRD 6000/7000 Ver. 5.21» и базы данных «ICDD PDF-4+ 2016».

Гранулометрический состав определяли рассевом на вибросите с определением количества остатка на стандартных ситах с размером ячеек 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

Плавучесть нефтяного сорбента на поверхности воды определяли по разности массы исходного сорбента и оставшегося на плаву сорбента после 12, 24, 72 и 96 часов по методике, представленной в работе [3].

Влагоёмкость определяли по отношению массы поглощённой воды к известной массе сухого сорбента. Нефтеёмкость определяли по

отношению массы поглощённой нефти и нефтепродуктов к известной массе сухого сорбента.

В качестве нефтепродуктов были использованы: нефть Бугурусланского месторождения, моторное масло (ММ) «Лукойл – Синтетик» (ТУ 0253-093-00148 636-97) и бензин (АИ-92).

Токсикологические свойства определяли на основании результатов биотестирования водных вытяжек на тест-объектах из разных систематических групп: *Ceriodaphnia affinis*, *Daphnia magna* Straus, *Scenedesmus quadricauda* и *Paramecium caudatum*.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с применением стандартных статистических методов. Математическая обработка результатов выполнялась с использованием программы Statistica 5.0.

Результаты и обсуждение

В процессе исследований были определены: физико-химические и токсикологические свойства, фазовый и гранулометрический состав шламов содового производства; закономерности сорбции нефти и нефтепродуктов ШСП и модифицированными сорбентами на основе ШСП.

Размещённые в отстойниках-шламонакопителях ШСП представляют собой сыпучий или пастообразный материал белого или светло-серого цвета, влажностью 50–75% с содержанием минералов кальцит – CaCO_3 85–87% и портландит – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 13–15%. В отстойниках-шламонакопителях ШСП подвергаются воздействию атмосферных осадков, образующийся фильтрат сбрасывается в водный объект. Определение содержания водорастворимых примесей (хлорид-ионы, ионы кальция, магния) практически во всех образцах показало превышение установленных нормативов предельно допустимых концентраций (табл. 1). Образцы № 3 и № 4 характеризуются наименьшим содержанием водорастворимых примесей, что обусловлено высокой степенью их отмыва атмосферными осадками ввиду длительности воздействия и их мелкодисперсного состава.

Анализ данных по гранулометрическому составу ШСП показал, что в составе образцов № 1 и № 2 преобладают частицы размером более 0,25 мм, а в составе образцов № 3 и № 4 преобладают частицы с размером менее 0,25 мм (табл. 2). Это объясняется различной скоростью седиментации взвешенных частиц исходной дистиллерной жидкости в отстойнике-

Таблица 1 / Table 1

Содержание водорастворимых примесей в шламах содового производства / The content of water-soluble impurities in sludge soda production

Показатель/ Parameter	ПДК/ permissible concentration	Образец / Sample			
		1	2	3	4
рН	фон / background	11,2±0,2	10,4±0,2	8,0±0,2	7,0±0,2
Хлорид-ионы (мг/дм ³) / chloride ion (mg/dm ³)	300	2800±250	3040±270	3270±290	2340±210
Сухой остаток (г/дм ³) / dry residue (g/dm ³)	1,0	1,70±0,15	0,90±0,08	1,40±0,13	0,300±0,027
Жёсткость (мг-экв/дм ³) / hardness (mg-equiv/dm ³)	7	24,0±2,2	21,5±2,0	15,5±1,4	4,00±0,36
Кальций (мг/дм ³) / calcium (mg/dm ³)	180	5000±600	4800±400	3710±330	640±60
Магний (мг/дм ³) / magnesium (mg/dm ³)	40	2850±260	2550±230	1840±170	480±40

Таблица 2 / Table 2

Гранулометрический состав шламов содового производства, %
Granulometric composition of soda production sludge, %

Размер ячеек, мм Cell size, mm	Образец / Sample			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
> 2	1,9	0,8	нет / по	1,7
2–1	16,8	7,7	8,2	12,8
1–0,5	28,0	21,9	18,8	16,6
0,5–0,25	23,2	27,5	16,6	15,1
0,25–0,1	26,4	28,7	37,5	32,2
< 0,1	3,6	13,4	18,9	21,6

шламонакопителе и формированием зон с различными свойствами ШСП: размер частиц, рН, содержание водорастворимых примесей, токсичность. Известно, что мелкодисперсный материал обладает лучшей плавучестью и нефтеёмкостью. Сорбция нефти и нефтепродуктов исходными ШСП обеспечивается за счёт притяжения между молекулами шлама и нефтепродуктов на границе раздела соприкасающихся фаз. Снижение размера частиц сорбента приводит к увеличению площади поверхности сорбирующих частиц и увеличению сорбционной ёмкости.

По результатам биотестирования водных вытяжек из образцов ШСП различного гранулометрического состава установлено, что снижение размера частиц приводит к снижению класса опасности для окружающей природной среды за счёт снижения рН среды: образцы с размером частиц более 0,5 мм – 4 класс (рН = 13); образцы с размером частиц менее 0,5 мм – 5 класс опасности (рН = 7,8).

Исследование сорбционных свойств исходных ШСП показало, что наибольшей нефтеёмкостью (г/г) обладает образец № 3: по

бензину – 0,95; по – ММ 0,9; по нефти – 0,75. Данные показатели выше, чем нефтеёмкость распространённых сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов с твёрдых поверхностей (г/г): песок (0,3); мел (0,4); каолин (0,47); глина (0,76) и сопоставимы с нефтеёмкостью дроблёного каменного (1,0) и бурого (0,8) углей [3].

Известна способность разложения карбоната кальция CaCO₃ при температуре около 900 °С с выделением углекислого газа CO₂. Термообработка неорганических материалов при температуре 700–900 °С приводит к удалению связанной влаги и балластных примесей. В результате возможно увеличение порового пространства за счёт образования пустот в материале и увеличение сорбционной ёмкости [18]. Экспериментально установлено, что температурная обработка незначительно увеличивает нефтеёмкость модифицированных образцов ШСП: по бензину – на 20%; по ММ – на 15%; по нефти – на 32%.

Для повышения гидрофобности образцов ШСП провели их модификацию кремний-органическими жидкостями с различным

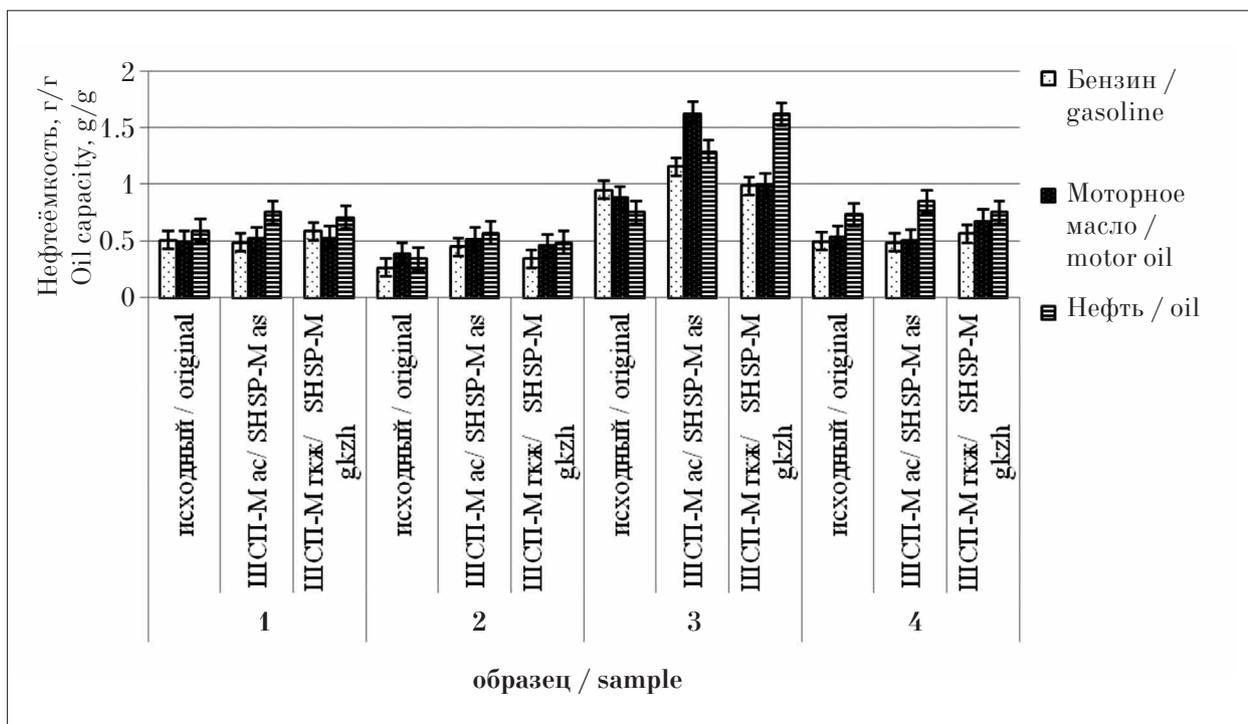


Рис. 1. Нефтеёмкость шламов содового производства после обработки кремнийорганическими жидкостями, г/г / Fig. 1. The oil capacity of soda production sludge after treatment with liquid silicone, g/g

массовым содержанием активного вещества. По литературным данным известно, что при гидрофобизации оптимальным является массовое содержание действующего вещества 2–10% [18]. На рисунке 1 представлены результаты исследований влияния природы и концентрации активного компонента раствора гидрофобизатора на нефтеёмкость модифицированных образцов.

Показано, что наибольшей нефтеёмкостью обладает образец ШСП № 3, обработанный

растворами «Аквасила» (ШСП-М_{ас}) или «ГКЖ-11 П» (ШСП-М_{ГКЖ}), при этом доля активного гидрофобизирующего компонента составляет 1,3–1,5% масс. Как видно из представленных данных, наибольшая нефтеёмкость по бензину (1,2 г/г) и моторному маслу (1,6 г/г) наблюдается для образца, полученного обработкой раствором «Аквасила». Наибольшей нефтеёмкостью по нефти (1,3 г/г) обладает образец, полученный обработкой «ГКЖ-11 П». Увеличение нефтеёмкости от-

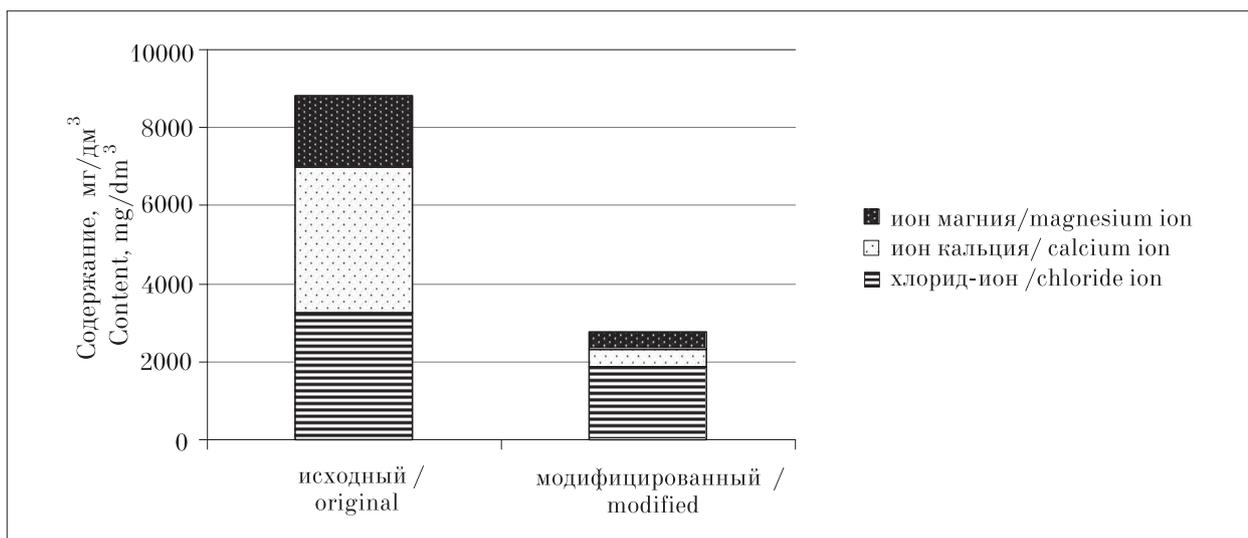


Рис. 2. Снижение вымывания водорастворимых примесей из образцов после их обработки кремнийорганическими жидкостями / Fig. 2. Reduction of leaching of water-soluble impurities from samples after their treatment with organosilicon liquids

носителем исходной составляет по бензину на 30%; по моторному маслу – на 80%; по нефти – на 73%.

Установлено, что формирование на поверхности образцов гидрофобной водоотталкивающей плёнки снижает их токсикологическую опасность, препятствуя выщелачиванию из них водорастворимых токсичных компонентов.

Результаты проведённых экспериментов по выщелачиванию из модифицированных образцов ионов кальция, магния и хлорид-ионов показали снижение растворимости (рис. 2). Содержание в водной вытяжке модифицированного сорбента снизилось относительно исходного ШСП по хлорид-ионам на 43%, по ионам магния – на 76%, по ионам кальция – на 88%, что приведёт к снижению экологической опасности полученных материалов.

При использовании сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и неф-

тепродуктов с поверхности водных объектов кроме нефтёмкости важным технологическим показателем является плавучесть сорбента на поверхности воды. В ходе исследований установлено, что наиболее высокой плавучестью (удерживание на воде более 40 сут.) обладают образцы ШСП-М_{АС} и ШСП-М_{ГКЖ} с фракцией менее 0,1 мм. Изучено влияние доли гидрофобной составляющей в массе сорбента на его плавучесть и определена её оптимальная доля – 1,5–1,8% масс. (рис. 3–4).

На плавучесть сорбентов оказывает влияние предварительная температурная обработка. Установлено, что при термообработке образцов при температуре выше 400 °С приводит к полной потере плавучести материала.

Заключение

Выполненные исследования позволили обосновать условия проведения процесса

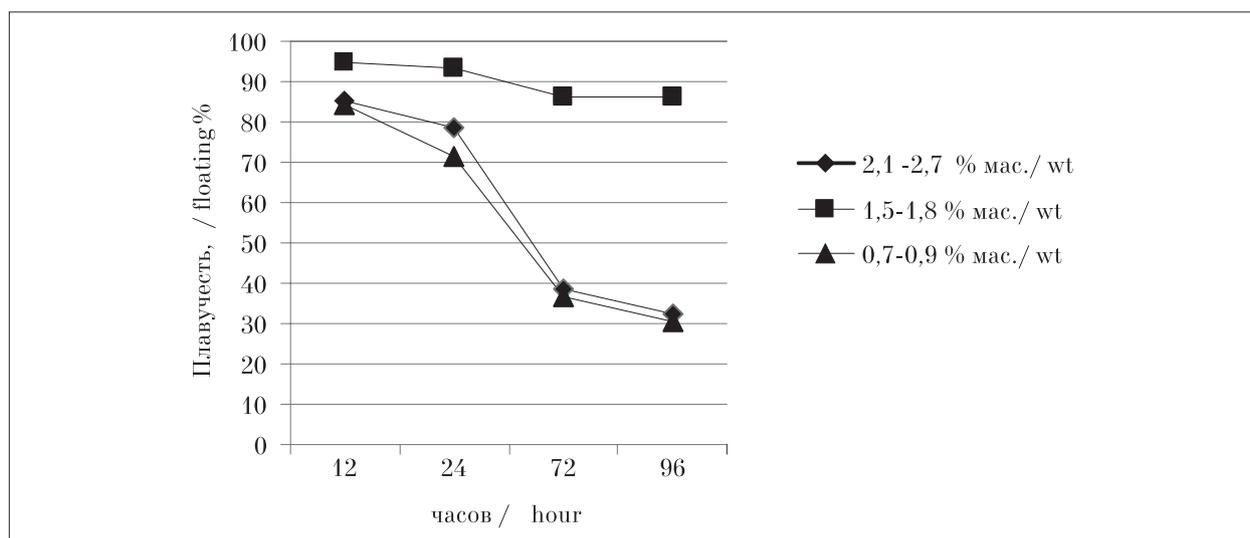


Рис. 3. Влияние дозы «Аквасил» на плавучесть модифицированных сорбентов.
Fig. 3. The influence of dose of «Akvasil» on the floating modified sorbents

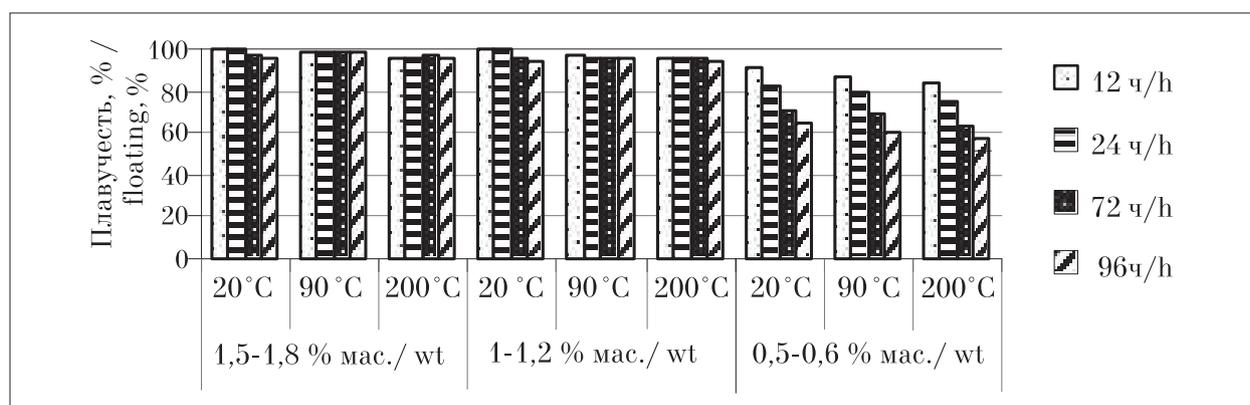


Рис. 4. Влияние дозы «ГКЖ-11 П» и температуры обработки на плавучесть модифицированных сорбентов.
Fig. 4. The influence of dose of «GKZH-11 P» and the temperature on the floating modified sorbents

модификации шлама в зависимости от его последующего применения.

Установлена возможность переработки шламов содового производства с получением модифицированных гидрофобных материалов, обладающих высокой сорбционной активностью к нефти и нефтепродуктам.

При получении модифицированных сорбентов целесообразна обработка шламов содового производства водным раствором метилсиликоната натрия или метилсиликоната калия с рабочей дозой 1,3–1,5% масс. и сушка при температуре 20 °С. Нефтеёмкость модифицированных сорбентов составляет по бензину 1,2, по моторному маслу – 1,6; по нефти – 1,3 г/г.

При получении модифицированных сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности водных объектов целесообразно проводить обработку шламов содового производства с размером фракции менее 0,1 мм раствором метилсиликоната натрия или метилсиликоната калия с рабочей дозой 1,5–1,8% масс. с последующей термообработкой при 90 °С. Плавуемость модифицированных сорбентов составляет за 96 часов около 98%. Общее время плавуемости модифицированных сорбентов на поверхности воды составляет более 40 суток.

Результаты проведённых исследований по переработке шламов содового производства позволили расширить области их использования и получить на их основе сорбционные материалы экологического назначения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-45-590169.

Литература

1. Кудайбергенов К.К. Разработка и изучение карбонизованных сорбентов для очистки воды от нефтяных загрязнений: Дис. ... д-ра философии. Алматы: КНУ. 2012. 101 с.
2. Flaherty L.M., Jordan J.M. Sorbent performance study for crude and refined petroleum products // International Oil Spill Conference, IOSC. 2005. P. 7852.
3. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2005. 528 с.
4. Zaloznaya E.P., Grigirov V.V., Grigiryev G.V., Ras-kach O.V. The use of natural sorbents to clean oily wastewater in the reservoir pressure maintenance systems // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. No. 7 (6). P. 679–684.

5. Galblaub O.A., Shaykhiev I.G., Stepanova S.V., Timirbaeva G.R. Oil spill cleanup of water surface by plant – based sorbents: Russian practices // Process Safety and Environmental Protection. 2016. No. 101. P. 88–92.
6. Sundaravadivelu D., Suidan M.T., Venosa A.D., Rosales P.I. Characterization of solidifiers used for oil spill remediation // Chemosphere. 2016. No. 144. P. 1490–1497.
7. Adebajo M.O., Frost R.L., Klopogge J.T., Carmody O. Porous materials for oil spill cleanup: a review of synthesis and absorbing properties // Journal porous materials. 2003. V. 10. P. 159–170.
8. Sayed S.A., Zayed A.M. Investigation of effectiveness of some absorbent materials in oil spill clean-ups // Desalination. 2006. V. 194. P. 90–100.
9. Rajakovic V., Aleksic G., Radetic M., Rajakovic Lj. Efficiency of oil removal from real wastewater with different sorbent materials // Journal of hazardous materials. 2007. V. 143. P. 494–499.
10. Motoyuki S. Adsorption engineering. Tokyo: Kodansha LTD. Amsterdam: Elsevier science publishers, 1990. 295 p.
11. Jacques F. Physical adsorption: experiment, theory and applications. Springer, 1997. 619 p.
12. Ягафарова Г.Г., Рахматуллин В.Р., Рахматуллин Д.В., Ягафаров И.Р., Московец А.В., Сафаров А.Х. Способ утилизации отходов бурения // Патент Российской Федерации 2413835. Заявка: 20091379443/03, 13.10.2009. Дата публикации: 10.03.2011. Бюл. № 7. 7 с.
13. Логунова Ю.В. Совершенствование технологии и оборудования для обезвреживания нефтезагрязненных материалов методом реагентного капсулирования: Дис. ... канд. техн. наук. Омск: ОГТУ. 2009. 148 с.
14. Gao P., Zhang Y., Zhao L. Synthetic zeolites derived from fly ash as effective mineral sorbents for diesel fuel spill remediation // Clay and Clay Minerals. 2016. No. 64 (5). P. 552–559.
15. Степанова С.В., Кондаленко О.А., Трушков С.М., Доможиров В.А. Ликвидация разливов нефти сорбционным методом с применением новых материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 10. С. 159–160.
16. Сироткина Е.Е., Борило А.В. Способ получения сорбента для очистки водной поверхности и почвы от нефти и нефтепродуктов // Патент Российской Федерации 2463106. Заявка: 201111226/05, 24.03.2011. Дата публикации: 10.10.2012. Бюл. № 28.
17. Хоанг К. Б., Тёмкин О.Н., Полникова Т.И., Валитова Э.Р., Каляя О.Л., Кузнецова Н.А. Способ получения плавающего углеродного сорбента для очистки гидросферы от нефтепродуктов // Патент Российской Федерации 2527095. Заявка: 2012153888/05, 13.12.2012. Дата публикации: 27.08.14. Бюл. № 24.
18. Голубчиков М.А. Очистка сточных вод от нефтепродуктов модифицированными адсорбентами на основе карбонатного шлама: Дис. ... канд. техн. наук. Казань: КГЭУ. 2015. 154 с.

19. Слизов Ю.Г., Гавриленко М.А., Макарычева А.И. Способ получения сорбента для очистки воды от углеводородов и их производных // Патент Российской Федерации 2579123. Заявка: 14.11.2014. Дата публикации: 27.03.16. Бюл. № 9.

20. Губкина Т.Г., Беляевский А.Т., Маслобоев В.А. Способы получения гидрофобных сорбентов нефти модификацией поверхности вермикулита органосилоксанами // Вестник МГТУ. Т. 14. № 4. С. 767–773.

21. Глазунова И.В. Абсорбционно-структурные характеристики каолинита, модифицированного органосилоксанами: Дис. ... канд. хим. наук. Липецк: ЛПТУ. 2003. 155 с.

22. Shtyka O.S., Blaszczyk M.M., Sek J.P. Analysis of emulsions concentration changes during imbibition in porous sorbents // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. No. 13 (10). P. 2401–2414.

References

1. Kudaybergenov K.K. Development and study of carbonized sorbents for water purification from oil pollution: Dis. ... d-ra filosofii. Almaty: Kazakhskiy natsionalnyy universitet. 2012. 101 p. (in Russian).

2. Flaherty L.M., Jordan J.M. Sorbent performance study for crude and refined petroleum products // International Oil Spill Conference, IOSC. 2005. P. 7852.

3. Kamenshchikov F.A., Bogomolnyy E.I. Removal of oil products from the water surface and soil. Moskva – Izhevsk: Institut kompyuternykh issledovaniy. 2005. 528 p. (in Russian).

4. Zaloznaya E.P., Grigorov V.V., Grigoryev G.V., Raskach O.V. The use of natural sorbents to clean oily wastewater in the reservoir pressure maintenance systems // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. No. 7 (6). P. 679–684.

5. Galblaub O.A., Shaykhiev I.G., Stepanova S.V., Timirbaeva G.R. Oil spill cleanup of water surface by plant – based sorbents: Russian practices // Process Safety and Environmental Protection. 2016. No. 101. P. 88–92.

6. Sundaravadevelu D., Suidan M.T., Venosa A.D., Rosales P.I. Characterization of solidifiers used for oil spill remediation // Chemosphere. 2016. No. 144. P. 1490–1497.

7. Adebajo M.O., Frost R.L., Klopogge J.T., Carmody O. Porous materials for oil spill cleanup: a review of synthesis and absorbing properties // Journal porous materials. 2003. V. 10. P. 159–170.

8. Sayed S.A., Zayed A.M. Investigation of effectiveness of some absorbent materials in oil spill clean-ups // Desalination. 2006. V. 194. P. 90–100.

9. Rajakovic V., Aleksic G., Radetic M., Rajakovic Lj. Efficiency of oil removal from real wastewater with different sorbent materials // Journal of hazardous materials. 2007. V. 143. P. 494–499.

10. Motoyuki S. Adsorption engineering. Tokyo: Kodansha LTD. Amsterdam: Elsevier science publishers, 1990. 295 p.

11. Jacques F. Physical adsorption: experiment, theory and applications. Springer, 1997. 619 p.

12. Yagafarova G.G., Rakhmatullin V.R., Rakhmatullin D.V., Yagafarov I.R., Moskovets A.V., Safarov A.Kh. Method of disposal of drilling wastes // Patent RU 2413835 C1. Application: 20091379443/03, 13.10.2009. Date of publication: 10.03.2011. Bull. 7 (in Russian).

13. Logunova Yu.V. Improvement of technology and equipment for neutralization of oil-contaminated materials by chemical encapsulation: Dis. ... kand. tekhn. nauk. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2009. 148 p. (in Russian).

14. Gao P., Zhang Y., Zhao L. Synthetic zeolites derived from fly ash as effective mineral sorbents for diesel fuel spill remediation // Clay and Clay Minerals. 2016. No. 64 (5). P. 552–559.

15. Stepanova S.V., Kondalenko O.A., Trushkov S.M., Domozhirev V.A. Elimination of oil spills by sorption method using new materials // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011. No. 10. P. 159–160 (in Russian).

16. Cirotkina E.E., Borilo A.V. A method for producing sorbent for cleaning the water surface and soil from oil and oil products // Patent RU 2463106 C1. Application: 2011111226/05, 24.03.2011. Date of publication: 10.10.2012. Bull. 28 (in Russian).

17. Khoang K. B., Temkin O.N., Polnikova T.I., Valitova E.R., Kaliya O.L., Kuznetsova N.A. A method of producing a floating carbon sorbent for purification of water from petroleum products // Patent RU 2527095 C 1 Application: 2012153888/05, 13.12.2012. Date of publication: 27.08.14. Bull. 24 (in Russian).

18. Golubchikov M.A. Wastewater treatment from oil products by modified adsorbents based on carbonate sludge: Dis. ... kand. tekhn. nauk. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet. 2015. 154 p. (in Russian)

19. Slizhov Yu.G., Gavrilenko M.A., Makarycheva A.I. A method for producing sorbent for purification of water from hydrocarbons and their derivatives // Patent RU 2579123 C 1. Application: 14.11.2014. Date of publication: 27.03.16. Bull. 9 (in Russian).

20. Gubkina T.G., Belyayavskiy A.T., Maslobovav V.A. Methods for obtaining hydrophobic sorbents of oil by modification of the surface of vermiculite by organosiloxanes // Vestnik MGTU. V. 14. No. 4. P. 767–773 (in Russian).

21. Glazunova I.V. Absorption and structural characteristics of kaolinite modified by organosiloxanes: Dis. ... kand. khim. nauk. Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2003. 155 p. (in Russian).

22. Shtyka O.S., Blaszczyk M.M., Sek J.P. Analysis of emulsions concentration changes during imbibition in porous sorbents // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. No. 13 (10). P. 2401–2414.