

## Создание гидрофобной губки на основе наноструктурированной сажи

М. Нажипкызы<sup>1,2\*</sup>, А. Нургаин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Satbayev University, ул. Сатпаева, 22 а, Алматы, Казахстан

### АННОТАЦИЯ

Гидрофобная губка с углеродным покрытием находит широкое применение в ряде отраслей. Одним из основных таких применений является эффективное удаление различных загрязнителей воды, например, таких как нефть, путем абсорбции. В данной работе гибкую, пористую и гидрофильную меламинавую губку покрывают сажей, обладающей супергидрофобными свойствами, образующейся в результате неполного сгорания смеси пропан-бутана. Образцы супергидрофобной сажи и губки, обладающей гидрофобными свойствами, исследовали с помощью таких методов, как СЭМ, EDAX, БЭТ. Созданная гидрофобная губка не впитывает воду, но в то же время хорошо сорбирует нефтепродукты. Угол смачивания поверхности созданной губки находится в пределах 145-150°, которая при селективном отделении масла от воды показывает абсорбцию 24 г масла на 1 г губки. В результате исследований было установлено, что губка, покрытая сажей, сохраняет сорбционную способность после 20 циклов работы, при этом общее количество сорбированного масла составляет около 95,5 %. Таким образом, полученные результаты демонстрируют эффективность применения меламинавой губки, покрытой гидрофобной сажей.

*Ключевые слова:* синтез, сажа, гидрофобная губка, угол смачивания, абсорбция.

### 1. Введение

Многие поверхности флоры и фауны в природе обладают супергидрофобными и самоочищающимися свойствами, наиболее типичным представителем которых является лист лотоса. Явление, при котором капли воды собираются на поверхности и быстро стекают с пылью, называется «эффектом лотоса» [1].

Разделение нефти и воды, поглощение нефти являются актуальными темами исследований, поскольку сброс промышленных нефтесодержащих сточных вод и возникновение аварийных разливов нефти в последние годы привели к загрязнению окружающей среды [2, 3]. Поэтому перед исследователями стоит первоочередная задача – разработать материалы с низкой стоимостью и высокой эффективностью поглощения нефти.

Методы борьбы с разливами нефти включают диспергаторы, боновые заграждения, скиммеры, сорбенты и биоремедиацию [4-8]. Среди этих методов абсорбция имеет преимущества, заключающиеся в высокой эффективности и простоте эксплуатации. В настоящее время это один из

наиболее разработанных и недорогих методов, обеспечивающих хорошую перерабатываемость сорбентов. Они должны обладать высокой емкостью и селективностью, причем первично удалять нефть, а не воду. Кроме того, возможность повторного использования сорбента и характеристики его регенерации также являются важными показателями, которые следует учитывать при выборе сорбирующих материалов. Поэтому в настоящее время растет количество исследований по изготовлению отделяющих масло от воды материалов [7]. Среди них важное значение имеют методы разделения нефти и воды, основанные на использовании нанотехнологий [8].

Абсорбирующие материалы включают наночастицы, двумерные (2D) и трехмерные (3D) материалы. Олеофильные наночастицы с высокой поглощающей способностью, такие как цеолит, активированный уголь и диоксид кремния, были исследованы с целью удаления нефти [9-11]. К 2D-материалам с высокой способностью к разделению масла и воды относятся синтетические пленки, сетки и ткани [12-14]. Недавние исследования показали, что гидрофобные пористые

\*Ответственный автор  
E-mail: meruert82@mail.ru

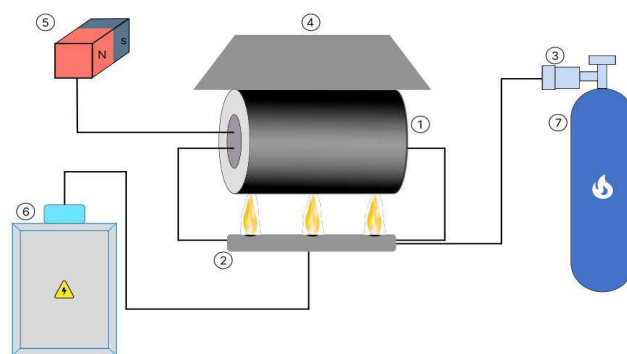
3D-материалы тоже обладают эффективными характеристиками поглощения масел и органических растворителей [15]. Они, имея большую емкость, могут мгновенно поглощать и десорбировать масло. Однако синтез материалов, таких как пена из углеродных нанотрубок (УНТ), композитные материалы каучук/графен, целлюлозные аэрогели и графеновые аэрогели, сталкивается с проблемами, связанными со сложной операцией, высокой стоимостью и загрязнением окружающей среды [16, 17]. Среди этих 3D-материалов губки не только обладают преимуществами пористой структуры, большой гибкостью и коммерческой доступностью [18], но также могут быть химически модифицированы [19].

Губки обычно применяются для звукопоглощения, сохранения тепла и предотвращения возгорания [20], а увеличение потребления губок приводит к образованию множества отходов, которые не разлагаются естественным путем. Таким образом, недорогие и широко распространенные губчатые отходы являются перспективным материалом для использования при абсорбции разливов нефти.

В данном исследовании особое внимание было уделено изготовлению гидрофобной губки с использованием углеродистой сажи, обладающей супергидрофобными свойствами и синтезированной при горении пропан-бутановой смеси [21]. При исследовании сажи в сорбционных процессах она показывает хорошую абсорбционную способность по отношению к ряду загрязняющих веществ [22, 23] и обладает хорошей пригодностью к вторичной переработке благодаря своей химической стабильности. Кроме того, сажу можно легко модифицировать, придав ей магнитные свойства, для достижения лучших характеристик разделения [24, 25]. В рамках данного исследования сажа, полученная из пропан-бутановой смеси, использовалась в качестве покрытия для создания гидрофобной губки.

## 2. Экспериментальные методы и материалы

Для синтеза сажи используют пропан-бутановую газовую смесь (производитель «Ушкин», Универсальный газ). Меламиновая губка куплена у компании Йорк, Республика Беларусь. Все реагенты и химикаты, используемые в синтезе, имеют аналитическую степень чистоты. Для абсорбции использовали нефть Жанаозенской области Казахстана без какой-либо предварительной подготовки.



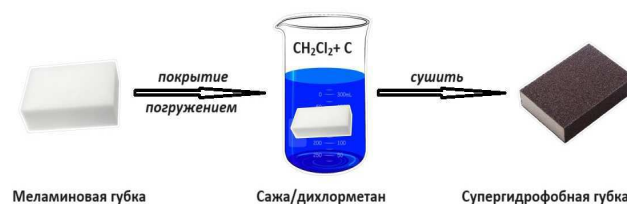
**Рис. 1.** Схематическое изображение экспериментальной установки, используемой при производстве сажи: 1 – барабан; 2 – пламя; 3 – пропан-бутановая смесь; 4 – сажевый накопитель; 5 – электрическое поле; 6 – трансформатор; 7 – газовый регулятор.

Синтез супергидрофобной сажи осуществляли в пламени пропан-бутановой смеси путем приложения электрического поля с напряжением 1 кв. На рис. 1 показана схема устройства синтеза. Специальный генератор приводит в движение стальной барабан диаметром 12,5 см, высотой 13,5 см. Расход подаваемого газа составлял 425-500 см<sup>3</sup>/мин. Расстояние между барабаном и горелкой составляло 2 см. Скорость синтеза сажи приблизительно равна 0,005 г/мин.

Принцип работы установки основан на осаждении сажевых частиц из пламени на поверхности вращающегося железного цилиндра и его автоматического сбора с использованием встроенного скребка.

Далее 25 мг сажи диспергировали в 20 мл раствора дихлорметана, после чего проводили 60-минутную обработку ультразвуком. Затем меламиновую губку размером 2×2×1 см, предварительно очищенную ацетоном и высушенную в сушилке при 80 °С, погружали в дисперсный раствор сажи. Губку, покрытую сажой, повторно сушили при температуре 80 °С в течение 2 часов. Схема процесса показана на рис. 2.

После покрытия меламиновой губки супергидрофобной сажой тестировали ее поведение при



**Рис. 2.** Схематическое изображение получения гидрофобной губки из сажи.

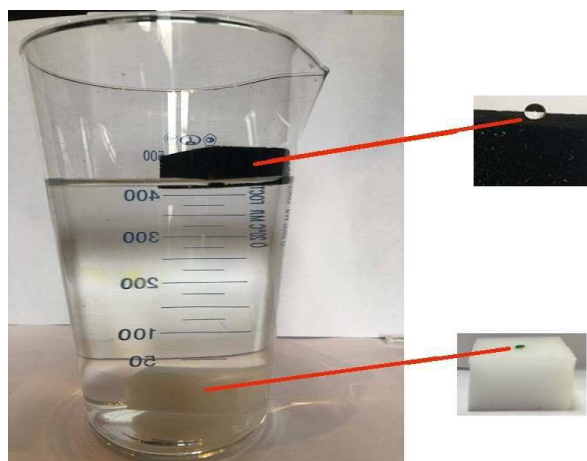


Рис. 3. Гидрофобность чистой меламинаевой губки и меламинаевой губки, покрытой гидрофобной сажой.

флотации в воде и ее гидрофобные способности. Как показано на рис. 3, меламинаевая губка, покрытая супергидрофобной сажой, легко плавает на поверхности воды, что может указывать на ее применимость для процессов жидкофазной селективной абсорбции. Губка, полностью погруженная в воду под действием внешней силы, имеет серебряное зеркальное отражение, что подтверждает свойство несмачивания по Кэсси-Бакстеру из-за воздуха, расположенного между поверхностью гидрофобной губки и окружающей водой.

Угол смачивания измеряли с помощью анализатора формы капли DSA25 KRÜSS GmbH KRus. Точность прибора составляет 0,1°. Эксперименты проводили при температуре 25 °С давлении 931 МПа и влажности воздуха 60-80%. Использовали дистиллированную/деионизированную воду. На образец наносили каплю воды объемом 2 мкл. После 5 сек стабилизации измеряли угол смачивания поверхности образца.

Для изучения абсорбционных свойств исследуемую смесь готовили следующим образом: в

чашку Петри наливали 35 мл дистиллированной воды и добавляли 3,00 мл ( $2,20 \pm 0,04$  г) нефтяного масла. Губку помещали на поверхность смеси и оставляли на время, необходимое для полной абсорбции масла (рис. 4).

Время, необходимое для сорбции, отмечали для расчета скорости абсорбции. Десорбцию проводили простым сжатием и для полного удаления масла губку промывали в бензоле.

Эксперименты по абсорбции-десорбции повторяли до тех пор, пока не достигли точки, при которой сорбционная способность масла уменьшалась. Гидрофобную губку взвешивали до и после экспериментов и рассчитывали сорбционную способность. Уравнение, используемое для расчета сорбционной способности нефти, имеет вид:

$$\text{Сорбционная способность масла}(z/z) = \frac{\text{масса абсорбированного масла}(z)}{\text{масса губки абсорбированной нефтью}(z)}$$

### 3. Результаты и обсуждение

Для выявления пористой структуры сажи ее образцы исследовали методом БЭТ и таким образом получали изотермы адсорбции и десорбции  $N_2$ , представленные на рис. 5. Для расчета удельной поверхности сажи использовали линейную зависимость  $1/[W(P_0/P-1)]$  от  $P/P_0$ , в то время как распределение пор по размерам оценивали с помощью нелокальной теории функционала плотности и методом Монте-Карло. По результатам анализов видно, что общее количество адсорбированного азота составляет приблизительно 910,1 см<sup>3</sup>/г, а площадь поверхности БЭТ – 175,7 м<sup>2</sup>/г. Удельная площадь поверхности наноструктурированной сажи выше, чем у образцов сажи, выделяющихся при горении, описанных в [26, 27].

Полученная изотерма соответствует мезопористой структуре и имеет петлю гистерезиса (IV и V тип изотерм адсорбции-десорбции по класси-

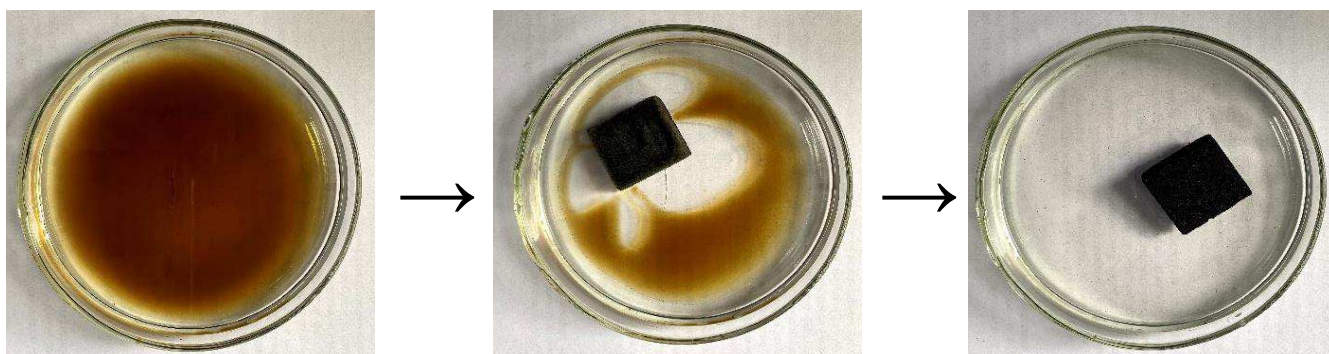


Рис. 4. Удаление нефти с водной поверхности с помощью гидрофобной губки.

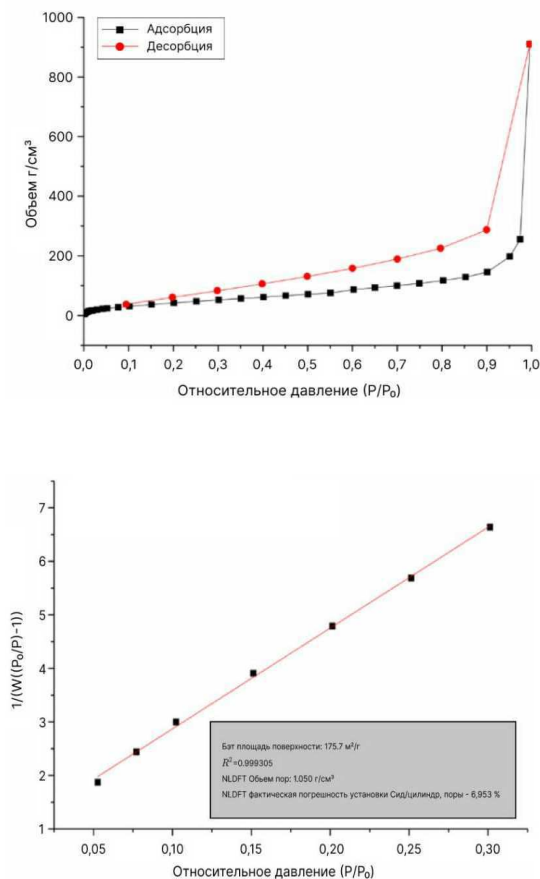


Рис. 5. Изотерма адсорбции-десорбции  $N_2$  и график БЭТ.

фикации ИЮПАК, составленной на основе изотерм Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера) и ее точная форма варьируется от одной адсорбционной системы к другой из-за капиллярной конденсации. На сильное и слабое взаимодействие адсорбат-адсорбент указывают выгнутый и вогнутый характер начального участка. Расчеты площади поверхности модели NLDFT, основанные на гибридной форме пор и качестве подгонки изотермы, были признаны приемлемыми с коэффициентом регрессии выше 0,999, в то время как ошибка подгонки составляла менее 7 %. Средний объем пор сажи –  $1,05 \text{ cm}^3/\text{г}$ . Плотность сажи определяли с помощью пикнометра  $He$ , которая равна  $1,7783 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Таблица 1. Элементный анализ наноструктурированной сажи

Элемент	Вес, %
Углерод	92,39
Кислород	5,45
Азот	2,15

В таблице 1 представлен элементный анализ образцов сажи.

На рис. 6 (а) показана микроструктура чистой губки и (б) гидрофобной губки.

Из СЭМ анализа видно, что поверхность гидрофобной губки имеет шероховатость, что подтверждает наличие наноструктурированной сажи на ее поверхности.

Эксперименты по разделению нефти и воды проводили с использованием предварительно подготовленной губки для поглощения нефти. Результаты показывают, что гидрофобная губка на основе сажи, обладающая супергидрофобными свойствами площадью  $16 \text{ cm}^2$ , объемом  $4 \text{ cm}^3$  и массой  $0,086 \text{ г}$ , полностью поглощает около  $2,08 \pm 0,5 \text{ г}$  нефти за  $1,14 \pm 0,1 \text{ мин}$ . Из оценки абсорбционной способности следует, что поглощенная нефть примерно в 24 раза превышает собственный вес губки. В дальнейшем она может быть легко извлечена с поверхности воды и поглощенная нефть с помощью сжатия может быть удалена. Материал позволяет использовать обработанную сажей губку повторно, т.е. число использования составляет 20 раз. Однако, как представлено на

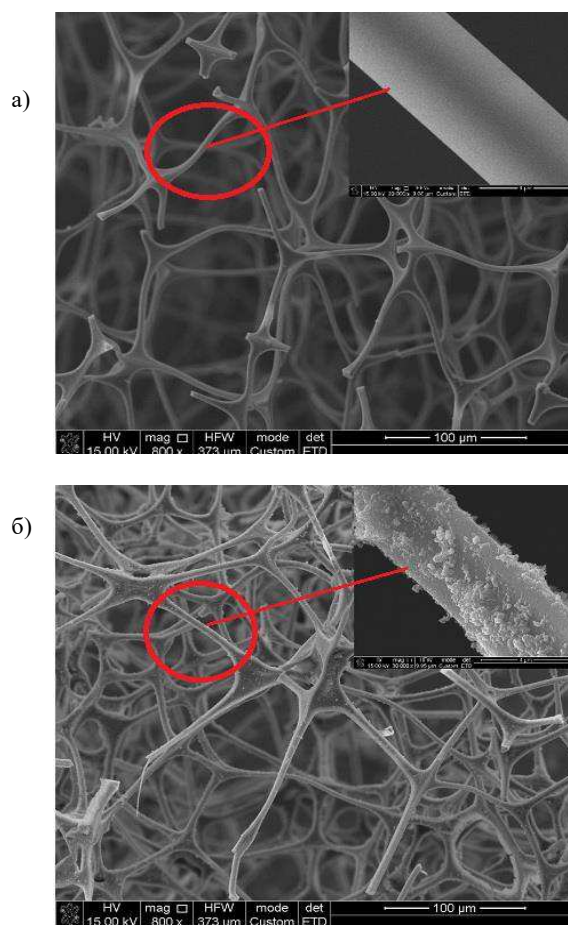


Рис. 6. СЭМ-изображения образцов: а) – микроструктура чистой губки; б) – микроструктура супергидрофобной губки.



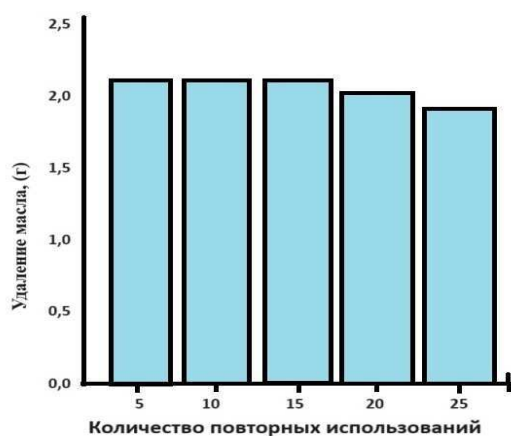


Рис. 7. Зависимость способности удаления масла от числа повторных применений.

рисунке 7, после 20 раза эффективность сорбции постепенно ухудшается. Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что сорбционная способность супергидрофобной губки намного выше, чем в работах, где используют просто сажу. Так, модифицированная сажа с металлическими и гидрофобными свойствами [24] может использоваться не более 3 раз.

Сорбционная способность губки, рассчитанная по формуле (1), равна 24 г/г.

#### 4. Заключение

По результатам исследований создана гидрофобная губка на основе наноструктурированной сажи. Синтез супергидрофобной сажи осуществляют в пламени пропан-бутановой смеси путем приложения электрического поля. Приготовление гидрофобной губки не требует особых условий и большого количества времени, кроме того, она проста в эксплуатации. Угол смачивания поверхности составляет около  $150,2^\circ$ .

Созданную гидрофобную губку применяют для удаления нефтяного слоя из водной поверхности, где губку можно использовать до 20 раз. Поглощающая способность данной губки равна  $24 \pm 0,5$  г/г, т.е. поглощенная нефть примерно в 24 раза превышает собственный вес губки.

Полученный материал является хорошей основой для разработки и исследования новых нефтяных сорбентов.

#### Благодарность

Работа выполнена в рамках программы «Грантовое финансирование научных исследований» АР19677415 Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

#### Список литературы

- [1]. Y. Wang, J. Xue, Q. Wang, Q. Chen, & J. Ding Verification of Icephobic/Anti-icing Properties of a Superhydrophobic Surface // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2013. – Vol. 5(8). – P. 3370-3381.
- [2]. E.B. Barbier et al. Ecology: Protect the deep sea // *Nat. News* 505. – 2014. – P. 475-477.
- [3]. V.S. Ferreira-Leitão et al. The protagonism of biocatalysis in green chemistry and its environmental benefits // *Catalysts*. – 2017. – Vol. 7(1) – P. 1-34.
- [4]. E.B. Kujawinski et al. Fate of dispersants associated with the deepwater horizon oil spill // *Environ. Sci. Technol.* – 2011. – Vol. 45. – P. 1298-1306.
- [5]. R. Pagnucco, M. Phillips Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms // *J. Environ. Manag.* – 2018. – Vol. 225. – P. 10-16.
- [6]. G. Hayase, K. Kanamori, M. Fukuchi, H. Kaji, K. Nakanishi Facile synthesis of marshmallow-like macroporous gels usable under harsh conditions for the separation of oil and water // *Angew. Chem. Int. Edit.* – 2013 – Vol. 52. – P. 1986-1989.
- [7]. T. Zhang, Z. Li, Y. Lü, Y. Liu, D. Yang, Q. Li, F. Qiu. Recent progress and future prospects of oil-absorbing materials // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2019. – Vol. 27(6). – P. 1282-1295.
- [8]. C.H. Lee., B. Tiwari, D. Zhang, Y.K. Yap. Water purification: oil-water separation by nanotechnology and environmental concerns // *Environmental Science: Nano*. – 2017. – Vol. 4(3). – P.514-525.
- [9]. A. Bayat, S.F. Aghamiri, A. Moheb & Vakili-Nezhaad, G. R. Oil spill cleanup from sea water by sorbent materials // *Chem. Eng. Technol.* – 2005. – Vol. 28. – P. 1525-1528.
- [10]. M. Tejero et al. Treatment of oil-water emulsions by adsorption onto resin and activated carbon. *Desalin // Water Treat.* – 2017. – Vol. 100. – P. 21-28.
- [11]. T. Wang, Y. Bao, Z. Gao, Y. Wu & L. Wu Synthesis of mesoporous silica-shell/oil-core microspheres for common waterborne polymer coatings with robust superhydrophobicity // *Prog. Organ. Coat.* – 2019. – Vol. 132. – P. 275-282.
- [12]. S. Wang, M. Li & Q. Lu Filter paper with selective absorption and separation of liquids that differ in surface tension // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. – 2010. – Vol. 2. – P. 677-683.
- [13]. Z. Xiaotao et al. A versatile approach to produce superhydrophobic materials used for oil-water separation // *J. Colloid Interface Sci.* – 2014. – Vol. 432. – P. 105-108.
- [14]. H. Kim, S. Han, J. Kim, H.O. Seo, Y.S. Kim Oil absorption capacity of bare and PDMS-coated

- PET non-woven fabric; dependency of fiber strand thickness and oil viscosity // *Curr. Appl. Phys.* – 2018. – Vol. 18. – P. 369-376.
- [15]. Y. Si et al. Superelastic and superhydrophobic nanofiber-assembled cellular aerogels for effective separation of oil/water emulsions // *ACS Nano.* – 2015. – Vol. 9. – P. 3791-3799.
- [16]. E. Piperopoulos et al. Assessment of sorption kinetics of carbon nanotube-based composite foams for oil recovery application // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2019. – Vol. 136. – P. 47374.
- [17]. L. Zhou, Z. Xu Ultralight, highly compressible, hydrophobic and anisotropic lamellar carbon aerogels from graphene/polyvinyl alcohol/cellulose nanofiber aerogel as oil removing absorbents // *J. Hazard. Mater.* – 2020. – Vol. 388. – P. 121804.
- [18]. Q. Zhu, Q. Pan, F. Liu Facile removal and collection of oils from water surfaces through superhydrophobic and superoleophilic sponges // *J. Phys. Chem. C.* – 2011. – Vol. 115. – P. 17464-17470.
- [19]. G. Demirel, E. Aygül Robust and flexible superhydrophobic/superoleophilic melamine sponges for oil-water separation // *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* – 2019. – Vol. 577. – P. 613-621.
- [20]. C. Ruan, K. Ai, X. Li X. & L. Lu A superhydrophobic sponge with excellent absorbency and flame retardancy // *Angew. Chem. Int. Edit.* – 2014. – Vol. 53. – P. 5556-5560.
- [21]. Z.A. Mansurov, M. Nazhipkyzy, B.T. Lesbayev, N.G. Prikhodko, M. Auyelkhanzyzy, Puri I.K. Synthesis of Superhydrophobic Carbon Surface during Combustion Propane // *Eurasian Chemico-technological journal.* – 2012. – Vol. 14, №. 1. – P. 19-23.
- [22]. Y. Gao, Y.S. Zhou, W. Xiong, M. Wang, L. Fan, H. Rabiee-Golgir, L. Jiang, W. Hou, X. Huang, L. Jiang. Highly efficient and recyclable carbon soot sponge for oil cleanup // *ACS Applied Materials & Interfaces.* – 2014. – Vol. 6(8). – P. 5924-5929.
- [23]. F. Beshkar, H. Khojasteh, M. Salavati-Niasari. Recyclable magnetic superhydrophobic straw soot sponge for highly efficient oil/water separation // *Journal of Colloid and Interface Science.* – 2017. – Vol. 497. – P. 57-65.
- [24]. M. Nazhipkyzy, A. Nurgain, M. Florent, A. Policicchio, T.J. Bandosz. Magnetic soot: Surface properties and application to remove oil contamination from water // *Journal of Environmental Chemical Engineering* – 2019. – Vol.7(3). – P. 103074.
- [25]. S. Liu, Q. Xu, S.S. Latthe, A.B. Gurav, R. Xing. Superhydrophobic/superoleophilic magnetic polyurethane sponge for oil/water separation // *Rsc. Advances.* – 2015. – Vol. 5(84). – P. 68293-68298.
- [26]. F.X. Ouf, S. Bourrous, C. Vallieres, J. Yon, L. Lintis Specific surface area of combustion emitted particles: Impact of primary particle diameter and organic content // *J. Aerosol Sci. Elsevier Ltd.* – 2019. – Vol. 137. – P. 105436
- [27]. W. Lee, H.V. Kim, J.H. Choi, G. Panomsuwan, Y.C. Lee, B.S. Rho, J. Kang Recycling Waste Soot from Merchant Ships to Produce Anode Materials for Rechargeable Lithium-Ion Batteries // *Sci. Rep. Springer US.* – 2018. – P. 1-11.

## References

- [1]. Wang Y, Xue J, Wang Q, Chen Q, & Ding J (2013) *ACS Applied Materials & Interfaces.* 5(8):3370-3381. <https://doi.org/10.1021/am400429q>
- [2]. Barbier EB et al. (2014) Ecology: Protect the deep sea. *Nat. News* 505:475-477. <https://doi.org/10.1038/505475a>
- [3]. Ferreira-Leitão VS et al. (2017) *Catalysts* 7(1):1-34. <https://doi.org/10.3390/catal7010009>
- [4]. Kujawinski EB et al. (2011) *Environ. Sci. Technol.* 45:1298-1306. <https://doi.org/10.1021/es103838p>
- [5]. Pagnucco R, Phillips M (2018) *J. Environ. Manag.* 225:10-16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.094>
- [6]. Hayase G, Kanamori K, Fukuchi M, Kaji H, Nakanishi K (2013) *Angew. Chem. Int. Edit.* 52:1986-1989. <https://doi.org/10.1002/anie.201207969>
- [7]. Zhang T, Li Z, Lü Y, Liu Y, Yang D, Li Q, Qiu F (2019) *Chinese Journal of Chemical Engineering* 27(6):1282-1295. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.09.001>
- [8]. Lee CH, Tiwari B, Zhang D, Yap YK (2017) *Environmental Science: Nano* 4(3):514-525. <https://doi.org/10.1039/C6EN00505E>
- [9]. Bayat A, Aghamiri SF, Moheb A & Vakili-Nezhaad GR (2005) *Chem. Eng. Technol.* 28:1525-1528. <https://doi.org/10.1002/ceat.200407083>
- [10]. Tejero M et al. (2017) *Desalin. Water Treat.* 100:21-28 <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2011.06.002>
- [11]. Wang T, Bao Y, Gao Z, Wu Y & Wu L (2019) *Prog. Organ. Coat.* 132:275-282. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.03.051>
- [12]. Wang S, Li M & Lu Q (2010) *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2:677-683. <https://doi.org/10.1021/am900704u>
- [13]. Xiaotao Z et al. (2014) *J. Colloid Interface Sci.* 432:105-108. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.06.056>
- [14]. Kim H, Han S, Kim J, Seo HO, Kim YS (2018) *Curr. Appl. Phys.* 18:369-376. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2018.01.017>
- [15]. Si Y et al. (2015) *ACS Nano* 9:3791-3799. <https://doi.org/10.1021/nn506633b>
- [16]. Piperopoulos E et al. (2019) *J. Appl. Polym. Sci.* 136:47374. <https://doi.org/10.1002/app.47374>
- [17]. Zhou L, Xu Z (2020) *J. Hazard. Mater.* 388:121804. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121804>

- [18]. Zhu Q, Pan Q, Liu F (2011) J. Phys. Chem. C 115:17464-17470. <https://doi.org/10.1021/jp2043027>
- [19]. Demirel G, Aygül E (2019) Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 577:613-621. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.081>
- [20]. Ruan C, Ai K, Li X & Lu L (2014) Angew. Chem. Int. Edit. 53:5556-5560. <https://doi.org/10.1002/anie.201400775>
- [21]. Mansurov ZA, Nazhipkyzy M, Lesbayev BT, Prikhodko NG, Auyelkhanqyzy M, Puri IK (2012) Eurasian Chemico-technological journal. 14(1): 19-23. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.886.32>
- [22]. Gao Y, Zhou YS, Xiong W, Wang M, Fan L, Rabiee-Golgir H, Jiang L, Hou W, Huang X, Jiang L (2014) ACS Applied Materials & Interfaces 6(8): 5924-5929. <https://doi.org/10.1039/C4RA10910D>
- [23]. Beshkar F, Khojasteh H, Salavati-Niasari M (2017) Journal of Colloid and Interface Science 497:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.02.016>
- [24]. Nazhipkyzy M, Nurgain A, Florent M, Policicchio A, Badosz TJ (2019) Journal of Environmental Chemical Engineering 7(3):103074. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103074>
- [25]. Liu S, Xu Q, Lathe SS, Gurav AB, Xing R (2015) Rsc. Advances 5(84):68293-68298. <https://doi.org/10.1039/C5RA12301A>
- [26]. Ouf FX, Bourrous S, Vallieres C, Yon J, Lintis L (2019) J. Aerosol Sci. Elsevier Ltd. 137:105436 <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2019.105436>
- [27]. Lee W, Kim HV, Choi JH, Panomsuwan G, Lee YC, Rho BS, Kang J (2018) Sci. Rep. Springer US. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10934-012-9599-5>

### Нанокұрылымды күйенің негізіндегі гидрофобты губка жасау

М. Нажипқызы<sup>1,2</sup>, А. Нұрғайн<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Satbayev University, Сәтбаев көшесі, 22, Алматы, Қазақстан

### АНДАТПА

Көміртектен қапталған гидрофобты губка бірқатар салаларда кеңінен қолданылады. Осындай негізгі қолданулардың бірі судың мұнай сияқты әртүрлі ластаушы заттарын сіңіру арқылы тиімді жою болып табылады. Бұл жұмыста иілгіш, кеуекті және гидрофильді меламинады губка пропан-бутан қоспасының толық жанмауы нәтижесінде пайда болатын супергидрофобты қасиетке ие күйемен қапталған. Гидрофобты қасиеттері

бар супергидрофобты күйе мен губка үлгілері SEM, EDAX, BET сияқты әдістермен зерттеледі. Құрылған гидрофобты губка суды сіңірмейді, бірақ сонымен бірге мұнай өнімдерін жақсы сіңіреді. Жасалған губка бетінің сулану бұрышы 145-150° диапазонында және майды судан селективті бөлу кезінде 1 г губкаға 24 г майдың сіңірілуін көрсетеді. Зерттеу нәтижесінде күйемен қапталған губка 20 цикл жұмыс істегеннен кейін сорбциялық қабілетін сақтайтыны анықталды, сорбцияланған майдың жалпы мөлшері шамамен 95,5% құрайды. Осылайша, алынған нәтижелер пропан-бутан қоспасын жағу арқылы алынған гидрофобты губканы қолданудың тиімділігін көрсетеді.

*Түйін сөздер:* синтез, күйе, гидрофобты губка, жұғу бұрышы, адсорбция.

### Creation of a hydrophobic sponge based on nanostructured soot

M. Nazhipkyzy<sup>1,2</sup>, A. Nurgain<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, 71, Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Satbayev University, 22a Satpayev str., Almaty, Kazakhstan

### ABSTRACT

The carbon-coated hydrophobic sponge is widely used in a number of industries. One of the main such applications is the effective removal of various water pollutants, such as oil, through absorption. In this work, a flexible, porous, and hydrophilic melamine sponge is coated with soot, which has superhydrophobic properties, resulting from incomplete combustion of a propane-butane mixture. Samples of superhydrophobic soot and sponges with hydrophobic properties are examined using methods, such as, SEM, EDAX, BET. The created hydrophobic sponge does not absorb water, but at the same time absorbs oil products well. The wetting angle of the surface of the created sponge is in the range of 145-150° and, with selective separation of oil from water, shows the absorption of 24 g of oil per 1 g of sponge. As a result of research, it was found that a sponge coated with soot retains its sorption capacity after 20 cycles of operation, with the total amount of sorbed oil being about 95.5%. Thus, the results obtained demonstrate the effectiveness of using a melamine sponge coated with hydrophobic soot.

*Key words:* synthesis, soot, hydrophobic sponge, contact angle, adsorption.