Оригинальная статья

УДК 628.316.13
DOI: 10.17277/voprosy.2026.03.pp.024-036

СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МАСЛОЖИРОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© Н. Ю. Кирюшина[1]✉, Н. С. Лупандина[1], Л. В. Денисова[1], Ю. Т. Поленяка[1], А. И. Малыхина[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», ул. Костюкова, 46, Белгород, 308012, Российская Федерация*

✉ Nataeco@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема очистки сточных вод масложировой промышленности, содержащих высокие концентрации жиров, масел и органических веществ. В качестве объекта исследований для получения сорбента использовали биомассу водорослей *Ulva lactuca* (Ульва лактука). Исследовано влияние кислотной (H_3PO_4) и щелочной (NaOH) химических модификаций на маслоемкость сорбента. Максимальная сорбционная емкость исследуемого материала составила 6,42 г/г. Определены сорбционные характеристики биомассы водорослей в статических условиях. Экспериментальные данные аппроксимированы моделями Ленгмюра, Фрейндлиха, БЭТ и Дубинина–Радушкевича. Модель БЭТ имеет наибольший коэффициент детерминации ($R^2 = 0{,}9867$), что указывает на полимолекулярную сорбцию масла и развитую пористую структуру сорбента.

Ключевые слова: водоросли *Ulva lactuca*; кислотная модификация; очистка сточных вод; сорбент; сточные воды масложировых производств.

Для цитирования. Кирюшина Н. Ю, Лупандина Н. С., Денисова Л. В., Поленяка Ю. Т., Малыхина А. И. Сорбционный материал для очистки сточных вод масложировой промышленности // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2026. – № 3(101). – С. 024–036. doi: 10.17277/voprosy.2026.03.pp.024-036

Sorbent Material for the Treatment of Wastewater from the Oil-and-Fat Industry

© Natalia Yu. Kiryushina[1]✉, Natalia S. Lupandina[1], Lyubov V. Denisova[1], Yuliya T. Polenyaka[1], Anna I. Malykhina[1]

[1] *Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation*

✉ Nataeco@mail.ru

Abstract. The article considers the problem of treating wastewater from the fat-and-oil industry, which contains high concentrations of fats, oils and organic matter. Biomass of the alga *Ulva lactuca* was used as an object of research to obtain a sorbent. The effect of chemical modification with acid (H_3PO_4) and alkali (NaOH) on the oil capacity of the sorbent was investigated. The maximum sorption capacity of the studied material was 6.42 g/g. The sorption characteristics of the algal biomass under static conditions were determined. Experimental data were approximated by the Langmuir, Freundlich, BET and Dubinin–Radushkevich models. The BET model has the highest coefficient of determination ($R^2 = 0.9867$), indicating polymolecular oil sorption and a developed porous structure of the sorbent.

Keywords: *Ulva lactuca* algae; acid modification; wastewater treatment; sorbent; wastewater from fat-and-oil industry.

For citation. Kiryushina N. Yu., Lupandina N. S., Denisova L. V., Polenyaka Yu. T., Malykhina A. I. Sorbent Material for the Treatment of Wastewater from the Oil-and-Fat Industry, *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2026, no. 3(101), pp. 024-036. doi: 10.17277/voprosy.2026.03.pp.024-036

Введение

Масложировая промышленность, являясь одной из ключевых отраслей агропромышленного комплекса, играет важнейшую роль в обеспечении продовольственной безопасности. Производство растительных масел (подсолнечного, соевого, хлопкового и др.), майонеза и других продуктов отрасли ежегодно наращивает объемы, отвечая растущему потребительскому спросу. Отрицательной стороной этого роста становится значительное увеличение объема и усложнение состава промышленных сточных вод [1, 2].

Сточные воды предприятий масложировой промышленности характеризуются высокой концентрацией жиров, масел, органических соединений и взвешенных веществ, что создает серьезную нагрузку на очистные сооружения и водные объекты. Их опасность носит комплексный и кумулятивный характер. При попадании в водоемы они вызывают кислородное голодание, приводящее к гибели водных гидробионтов. Попадая в систему канализации, жиры и масла опасны образованием жировых засоров в коллекторах и коррозией труб [3].

В настоящее время для очистки сточных вод масложировой промышленности используются такие методы очистки сточных вод, как флотация, электрокоагуляция-флотация, реагентная очистка, сорбционные и биосорбционные методы [4 – 6]. Новыми действенными реагентами очистки сточных вод маслоэкстракционного завода зарекомендовали себя алюминий азотнокислый 9-водный $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ и гипохлорит натрия NaOCl, при этом применялись два способа введения коагулянта – непрерывный и фракционированный. Наилучший эффект очистки по снижению содержания жиров показал алюминий азотнокислый 9-водный, который ранее не использовался для таких стоков [7].

Приоритетным направлением развития технологии развития масложировой промышленности является использование высокоэффективных и дешевых сорбентов. Особо привлекательным является природное углеродсодержащее сырье (торф, мох, листовой опад, солома, опилки, кора и древесина, а также другие отходы сельскохозяйственного и технологического происхождения), применяемое в качестве сорбентов для очистки сточных вод. Такие материалы привлекательны благодаря доступности, экологичности, биоразлагаемости и простоте утилизации.

Для получения эффективных сорбентов для сбора масла или нефти, структуру растительных отходов целенаправленно изменяют механическим измельчением, термической обработкой и химическим модифицированием. Измельчение увеличивает удельную поверхность материала, пиролиз формирует гидрофобный микропористый каркас, а обработка реагентами создает активные центры для селективного поглощения углеводородов. Использование этих методов позволяет получать из отходов недорогие и экологичные сорбенты с высокой масло- и нефтеемкостью [8]. Так, активный уголь АУ-1, полученный путем пирогазовой активации шрота после экстракционной обработки корневища элеутерококка колючего, в области малых концентраций загрязняющих веществ незначительно уступает промышленным углям с развитой удельной поверхностью [9].

Авторами [10] разработана методика получения адсорбентов из рисовой лузги, включающая обработку перекисью водорода, обжиг, удаление кремния щелочью, химическую модификацию раствором алюмокальциевых квасцов и термическую активацию при температурах 400…800 °С. Эффективность полученных сорбентов оценивалась по способности отбеливать хлопковое масло. В ходе экспериментов установлено, что оптимальными условиями являются концентрация квасцов 30 – 40 % при расходе 20 – 25 % от массы сорбента и температура активации 800 °С. При этих режимах цветность масла снизилась с 16 до 9,4 красных единиц, а кислотное число уменьшилось с 4,0 до 0,22 мг КОН/г.

Учеными Пермского политехнического университета разработана технология получения гранулированных активных углей (**ГАУ**) сферической формы из отходов растительного происхождения (скорлупы грецкого ореха и арахиса, косточки абрикоса, лузги гречихи) методом жидкостной грануляции. Основные этапы процесса включают предварительную термообработку сырья для удаления летучих веществ, смешивание с фенолформальдегидной смолой (связующее) в массовом соотношении 1 : 5, диспергирование композиции в раствор серной кислоты концентрацией 30 – 35 % с выдержкой 24…30 ч для отверждения гранул, последующую промывку до pH 5…6 и сушку. Далее проводят карбонизацию при (500 ± 50) °С в течение 1 ч и активацию при (800 ± 50) °С в атмосфере CO_2. Полученные угли характеризуются суммарным объемом пор 1,2…1,9 $см^3/г$, предельным объемом сорбционного пространства 0,46…0,71 $см^3/г$ и радиусом микропор 0,527…0,635 нм [11].

Авторы [12 – 14] исследовали возможность использования листового опада (сосновой хвои, листьев дуба, березы и осины) в качестве сорбентов для удаления пленки нефти с поверхности воды. Определены основные

характеристики сорбентов: суммарный объем пор (5,616…9,711 $см^3$/г), плавучесть (24,0 – 59,5 %), нефтеемкость (6,753…9,829 г/г) и водопоглощение. Наибольшую сорбционную способность по отношению к нефти проявили листья осины (7,568 г/г при извлечении с поверхности воды) и березы (9,829 г/г при погружении в слой нефти). Установлено, что растительные отходы эффективно собирают нефть в течение первых 3…5 мин контакта и могут служить экологичным и экономичным средством ликвидации нефтяных разливов.

Целью настоящего исследования является разработка метода утилизации растительных отходов зеленых водорослей *Ulva lactuca* (Ульва лактука) с получением целевого продукта – сорбционного материала для очистки сточных вод масложировой промышленности. *Ulva lactuca* – широко распространенный вид макроводорослей, обитающих в умеренных и субтропических широтах в широком диапазоне условий, от холодных до тропических вод, в чистых и загрязненных водах, зачастую является ценозообразующим видом донных сообществ. В течение года сменяется несколько поколений водорослей. Тело водорослей (слоевище) представляет собой тонкую, нежную пластину светло-зеленого цвета длиной до 1,5 м, часто с перфорациями различной формы. Слаборазвитая корневая система делает *Ulva lactuca* уязвимыми к воздействию волн, в результате чего их массовые выбросы на берег становятся значительной эколого-экономической проблемой прибрежных зон.

Материалы и методы

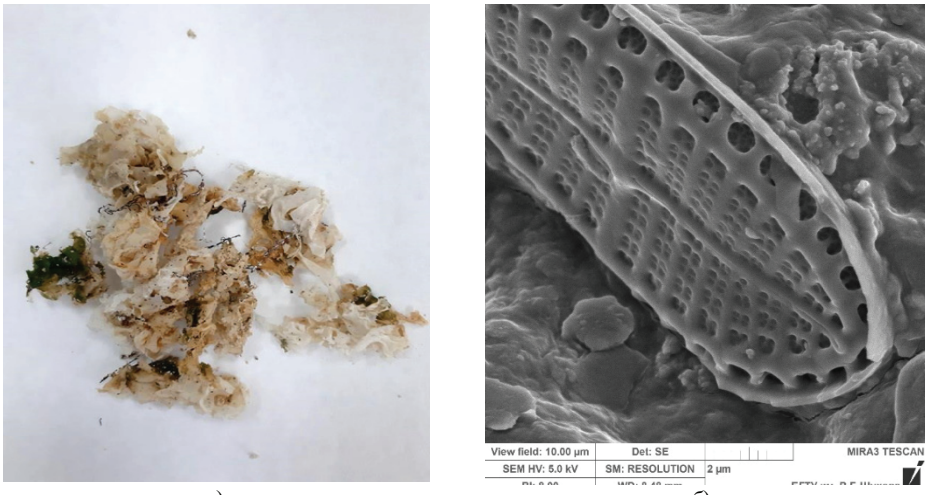
В данной работе использовали модельную сточную воду с имитацией на ее поверхности масляной пленки. В качестве сорбата использовали растительное масло рафинированное ГОСТ 1129–2013 [15]. Характеристика подсолнечного масла представлена в табл. 1.

Биомасса водорослей (**БВ**) собрана в осенний период и высушена на открытом воздухе в естественных условиях до постоянной массы (рис. 1, *а*). Сухие водоросли не растворяются в воде, имеют высокую гидрофильность и обладают малой плавучестью. Химический состав водорослей представлен полисахаридами (50 – 65 %), белками (10 – 25 %), липидами (1 – 4 %), макроэлементами (Na, K, Ca и Mg) и микроэлементами (Fe, Zn, Cu, Mn, I и Se) [16].

Таблица 1

Характеристика подсолнечного масла рафинированного дезодорированного

Наименование показателя	Значение
Йодное число, мг йода	6…10
Кислотное число, мг КОН	0,3…0,4
Прозрачность	Прозрачное без осадка
Влажность, летучие вещества, %	0,1
Механические примеси, %	–



а) *б*)

Рис. 1. Внешний вид (*а*) и микрофотографии (*б*) водоросли Ulva lactuca

Структуру водорослей определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU. На микроуровне хорошо различима фибриллярная сеть целлюлозы, образующая пористый каркас. Поверхность этого каркаса демонстрирует значительную шероховатость с множеством микротрещин, чешуйчатых образований и пор различного размера, делая БВ привлекательной в качестве масло- и нефтесорбента (рис. 1, *б*).

Для изучения маслоемкости использовалась исходная БВ, а также химически модифицированная растворами минеральных кислот и щелочей. Химическую модификацию проводили в целях увеличения емкости и скорости поглощения масложировых загрязнений. Обработку проводили 20%-м раствором H_3PO_4 и 10%-м раствором NaOH в течение 5 ч.

Для определения маслоемкости БВ использовали следующую методику. Навеску подсолнечного масла и подсолнечного масла с водой помещали в емкость. Далее образцы БВ исходной и модифицированной на лабораторном сите погружали в эту же жидкость для полного смачивания. Через заданные промежутки времени образцы извлекали, позволяли свободно стечь излишкам жидкости и взвешивали на аналитических весах [17 – 19].

Сорбционную емкость по маслу оценивали в статических условиях: образец массой 0,5 г в сетчатом коробе выдерживали в 20 мл масла от 5 до 60 мин, после чего измеряли привес на аналитических весах. Сорбционную емкость A, г/г, вычисляли как отношение массы поглощенного вещества к начальной массе сорбента [20] по формуле

$$A = m_{\text{погл}} / m_{\text{сорб}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{погл}}$, $m_{\text{сорб}}$ – массы поглощенного масла и сорбционного материала, соответственно, г.

Расчет параметров моделей проводили методом нелинейной регрессии (MS Excel). Качество аппроксимации оценивали по коэффициенту детерминации R^2.

Результаты и обсуждение

Согласно полученным результатам, кислотная модификация $БВ_{к.м}$ создает оптимальную гидрофобную, пористую структуру для сорбции масла внутри капилляров сорбента (табл. 2). Также установлено, что значение маслоемкости исследуемого сорбционного материала существенно зависит от условий контакта с загрязнителем. В частности, максимальная поглотительная способность достигается при погружении сорбента в слой чистого масла и для БВ кислотной модификации составила 6,40 г/г, тогда как при сборе масляной пленки с водной поверхности этот показатель закономерно снижается до 5,89 г/г. Щелочная модификация $БВ_{щ.м}$ не показала значимых результатов по маслоемкости и улучшения сорбционных характеристик.

Данный факт можно объяснить тем, что гидрофобное взаимодействие между неполярными углеводородными цепями масла и гидрофобизованной поверхностью сорбента реализуется преимущественно на внешней площади материала. В силу относительно крупных размеров молекулярных агрегатов масла (триглицеридов) их диффузия в глубокие поры затруднена, и адсорбция происходит главным образом на наружных участках.

Для углубленного анализа сорбционных механизмов, определяющих эффективность водоочистки, экспериментально получена и проанализирована изотерма адсорбции масляной суспензии биоматериалом (БВ). Полученная зависимость (рис. 2) соответствует изотерме II типа в классификации IUPAC, что характерно для микро- и макропористых структур с полимолекулярной адсорбцией. Сорбционная емкость кислотно-модифицированного материала, рассчитанная по ХПК, составила 6,40 г/г; данные значения сопоставимы с результатами, представленными в литературе для целлюлозосодержащих сорбентов, применяемых в водоочистке [21].

Адсорбционное равновесие в системе достигается при балансе между концентрацией извлекаемого компонента в растворе и его содержанием на поверхности раздела фаз [22]. Для идентификации механизма взаимодействия и определения закономерностей размещения молекул на активных центрах поверхностного слоя экспериментальные зависимости аппроксимированы классическими моделями Ленгмюра, Фрейндлиха, полимолекулярной адсорбции БЭТ и Дубинина–Радушкевича. Результаты обработки представлены на рис. 3.

Таблица 2

Маслоемкость биомассы водорослей, масс. %

Модификация	Маслоемкость, г/г	
	из слоя масла	с поверхности воды
$БВ_{исх}$	5,76	5,37
$БВ_{к.м}$	6,40	5,89
$БВ_{щ.м}$	4,52	4,08

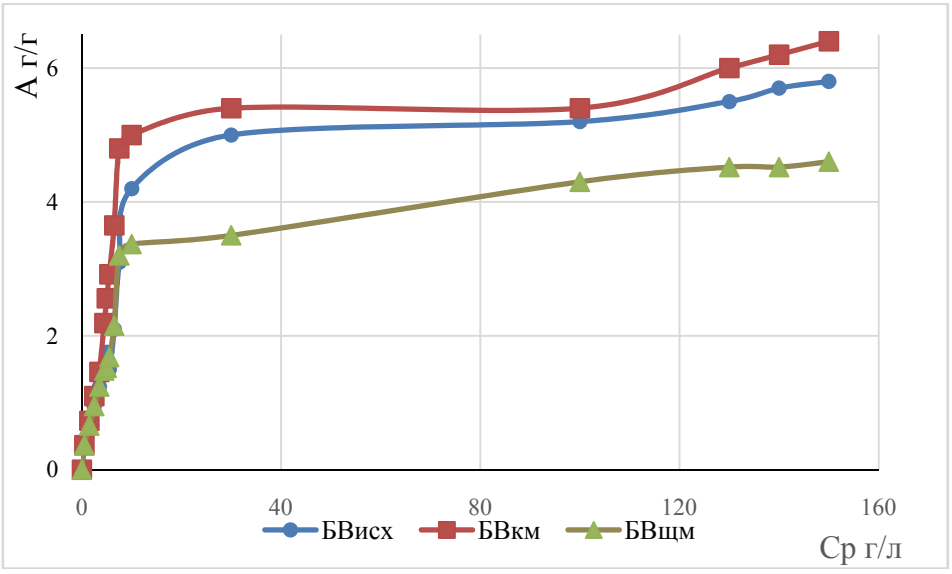
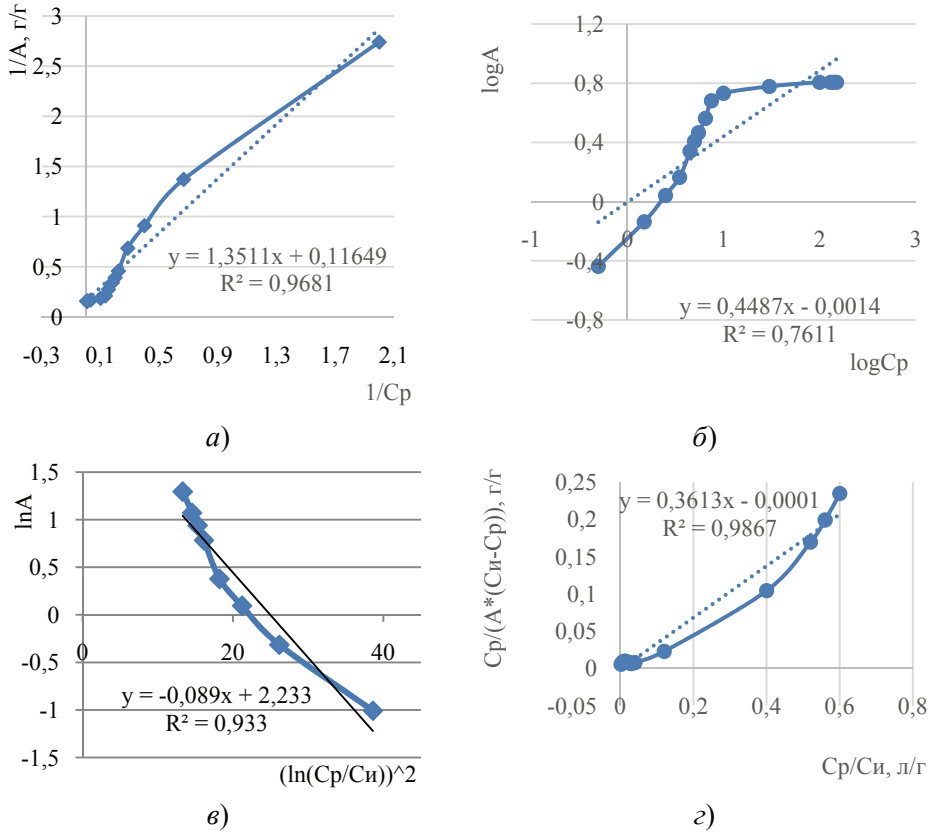


Рис. 2. Изотерма адсорбции масла биомассой водорослей



а) *б*) *в*) *г*)

Рис. 3. Изотермы адсорбции:
а – Ленгмюра, *б* – Фрейндлиха, *в* – Дубинина–Радушкевича, *г* – БЭТ

При математической обработке результатов установлено, что наиболее высокий коэффициент детерминации наблюдается у модели БЭТ (R^2 = 0,9867). Известно, что чем ближе значение коэффициента детерминации к единице [23], тем точнее модель описывает экспериментальные данные. Следовательно, полученное значение R^2 свидетельствует о высокой точности описания процессом сорбции именно моделью БЭТ. Это указывает на полимолекулярный механизм поглощения масла, который включает как адсорбцию в монослое, так и последующее накопление в более глубоких слоях и порах, что характерно для сорбентов с развитой макропористой структурой.

Заключение

Биомасса зеленой водоросли *Ulva lactuca*, являющаяся экологической проблемой прибрежных зон из-за массовых выбросов на берег, может активно использоваться в качестве исходного материала для получения сорбентов. СЭМ-анализом установлено, что водоросли обладают волокнистой пористой структурой, что создает предпосылки для высокой сорбционной активности.

Кислотная обработка приводит к формированию гидрофобной пористой структуры, предпочтительной для поглощения, демонстрирует лучшую селективность по отношению к маслу и составляет 6,40 г/г.

Анализ изотермы адсорбции (тип II по классификации IUPAC) указывает на микро- и макропористых структуру БВ с полимолекулярной адсорбцией. Соответствие модели БЭТ (R^2 = 0,9867) доказывает полимолекулярный характер адсорбции: процесс включает как заполнение монослоя, так и последующее накопление молекул масла в порах сорбента, что позволяет утилизировать избыточную биомассу водорослей, превращая ее в ценный сорбент для очистки сточных вод масложировой промышленности.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ имени В. Г. Шухова.

Funding

This study was conducted within the framework of the flagship university development program at Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, using equipment from the High-Tech Center of BSTU named after V. G. Shukhov.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Собгайда, Н. А. Очистка сточных вод малых предприятий мясоперерабатывающей промышленности / Н. А. Собгайда, Е. А. Данилова // Экология и промышленность России. – 2005. – № 2. – С. 18–20.

2. Гавриленков, А. М. Экологическая безопасность пищевых производств / А. М. Гавриленков, С. С. Зарцина, С. Б. Зуева. – Санкт-Петербург : Гиорд, 2006. – 272 с.

3. Поглощение легких нефтепродуктов модифицированными материалами на базе отхода водоочистки / И. Н. Шумкова, З. Т. Санатуллова, И. Г. Шайхиев, С. В. Свергузова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2024. – № 2. – С. 18–41. doi: 10.17122/ogbus-2024-2-18-41

4. Очистка сточных вод предприятий масложировой промышленности : обзор. информ. / Ю. И. Сухарев, В. Р. Гофман, Е. В. Николаенко [и др.]. – Препр. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1998. – 44 с.

5. Саинова, В. Н. Кинетические характеристики процесса биологической очистки сточных вод масложировой промышленности / В. Н. Саинова, А. Н. Костров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 1-8. – С. 2081–2084.

6. Меншагиев, Д. Э. Сорбенты на основе остатков после термообработки нефтесодержащих отходов и полиэтилена для сбора разлитых на поверхности воды нефти и нефтепродуктов / Д. Э. Меншагиев, Е. В. Калинина // Химия. Экология. Урбанистика. – 2019. – Т. 1. – С. 157–161.

7. Быстранова, А. О. Очистка сточных вод масложировой промышленности / А. О. Быстранова, С. Ю. Теплых, Е. А. Теплых // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8, № 4(33). – С. 24–28. doi: 10.17673/Vestnik.2018.04.5

8. Целлюлозосодержащий сорбент для очистки сточных вод от нефти и ионов меди / А. В. Святченко, Ж. А. Сапронова, С. В. Свергузова, Р. Н. Ястребинский // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. – 2021. – № 2(303). – С. 106–119. doi: 10.33285/2073-9028-2021-2(303)-106-119

9. Получение активного угля из растительных остатков и оценка его адсорбционных свойств / Л. Н. Григорьев, Л. Г. Веренцова, О. А. Шанова, А. А. Родионова // Химия растительного сырья. – 2015. – № 4. – С. 93–99.

10. Икромов, О. А. Сорбенты для очистки растительных масел / О. А. Икромов, Ф. У. Суванова, Ж. Б. Фармонов // Universum: Технические науки. – 2019. – № 5(62). – С. 31–33.

11. Получение гранулированного активного угля из отходов растительного сырья / Е. А. Фарберова, Е. А. Тиньгаева, А. Д. Чучалина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2018. – Т. 61, № 3. – С. 51–57. doi: 10.6060/tcct.20186103.5612

12. Шайхиев, И. Г. Использование компонентов деревьев рода Quercus в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из воды. Обзор литературы / И. Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 5. – С. 151–160.

13. Ликвидация разливов нефти сорбционным методом с применением новых материалов / С. В. Степанова, О. А. Кондаленко, С. М. Трушков, В. А. Доможиров // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 10. – С. 159–160.

14. Оценка сорбционных свойств листового опада урбанизированной территории (на примере центрального района города Уфа) / Э. С. Насырова, Н. А. Кальсин, Н. В. Кострюкова, Д. С. Султанова // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 3. – С. 52–57. doi: 10.17513/use.38229

15. ГОСТ 1129–2013. Масло подсолнечное. Технические условия: межгосударственный стандарт. – Введ. : 2014-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 19 с.

16. Липидный состав и мембранопротекторное действие экстракта из морской зеленой водоросли Ulva Lactuca (L.) / С. Е. Фоменко, Н. Ф. Кушнерова, В. Г. Спрыгин [и др.] // Химия растительного сырья. – 2019. – № 3. – С. 41–51. doi: 10.14258/jcprm.2019035116

17. Пашкевич, В. М. Компьютерное моделирование и анализ маслоемкости поверхности / В. М. Пашкевич, В. В. Афаневич // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2006. – № 1(10). – С. 198–203.

18. ГОСТ 21119.8–75 (ИСО 787-5–80). Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение маслоемкости: межгосударственный стандарт. – Введ. : 1977-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1975. – 5 с.

19. Еремин, И. С. Разработка сорбирующего материала на основе растительного сырья : дис. … канд. техн. наук : 03.02.08 / И. С. Еремин. – Москва, 2018. – 133 с.

20. Очистка сточных вод завода растительных масел от жиров и взвешенных веществ / Б. С. Ксенофонтов, А. С. Козодаев, Р. А. Таранов [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 4–8. doi: 10.18412/1816-0395-2022-4-4-8

21. Степанова, С. В. Очистка модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов, шелухой пшеницы / С. В. Степанова, И. Г. Шайхиев, С. В. Свергузова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 183–186.

22. Изучение процесса сорбции растворенных нефтепродуктов из водных сред углеродсодержащим материалом / И. В. Старостина, Н. Ю. Кирюшина, А. С. Лушников [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2022. – № 3(306). – С. 60–66. doi: 10.33285/2411-7013-2022-3(306)-60-66

23. Галимова, Р. З. Обработка результатов исследования процессов адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel / Р. З. Галимова. – Казань ; Белгород : Казанский нац. исследовательский технологический ун-т ; БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – 59 с.

References

1. Sobgayda N.A., Danilova E.A. [Wastewater treatment of small meat processing enterprises], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2005, no. 2, pp. 18-20. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Gavrilenkov A.M., Zartsina S.S., Zueva S.B. *Ekologicheskaya bezopasnost' pishchevykh proizvodstv* [Environmental safety of food production], St. Petersburg: Giord, 2006, 272 p. (In Russ.)

3. Shumkova I.N., Sanatullova Z.T., Shaikhiev I.G., Sverguzova S.V. [Absorption of light oil products by modified materials based on water treatment waste], *Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoye delo* [Electronic Scientific Journal Oil and Gas Business], 2024, vol. 2, pp. 18-41. doi: 10.17122/ogbus-2024-2-18-41 (In Russ., abstract in Eng.)

4. Sukharev Yu.I., Gofman V.R., Nikolaenko E.V. [et al.] *Ochistka stochnykh vod predpriyatiy maslozhirovoy promyshlennosti: obzor. inform.* [Wastewater treatment of fat-and-oil industry enterprises (Review information)], Chelyabinsk: Publishing house of SUSU, 1998, 44 p. (In Russ.)

5. Sainova V.N., Kostrov A.N. [Kinetic characteristics of the biological wastewater treatment process of the fat-and-oil industry], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific

Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, vol. 13, no. 1-8, pp. 2081-2084. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Menshagiev D.E., Kalinina E.V. [Sorbents based on residues after heat treatment of oil-containing waste and polyethylene for collecting oil and oil products spilled on water surface], *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika* [Chemistry. Ecology. Urbanistics], 2019, no. 1, pp. 157-161. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Bystranova A.O., Teplukh S.Yu., Teplukh E.A. [Cleaning of oil-containing wastewater], *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 4(33), pp. 24-28. doi: 10.17673/Vestnik.2018.04.5 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Svyatchenko A.V., Sapronova Zh.A., Sverguzova S.V., Yastrebincky R.N. [Cellulose-containing sorbent for wastewater treatment from oil and copper ions], *Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I.M. Gubkina* [Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas], 2021, no. 2(303), pp. 106-119. doi: 10.33285/2073-9028-2021-2(303)-106-119 (In Russ., abstract in Eng.)

9. Grigoriev L.N., Verentsova L.G., Shanova O.A., Rodionova A.A. [Preparation of activated carbon from plant residues and evaluation of its adsorption properties], *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2015, no. 4, pp. 93-99. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Ikromov O.A., Suvanova F.U., Farmonov Zh.B. [Sorbents for cleaning of vegetable oils], *Universum: Tekhnicheskiye nauki* [Universum: Technical Sciences], 2019, no. 5(62), pp. 31-33. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Farberova E.A., Tingaeva E.A., Chuchalina A.D. [et al.] [Obtaining granulated active carbon from wastes of vegetable raw materials], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology], 2018, vol. 61, no. 3, pp. 51-57. doi: 10.6060/tcct.20186103.5612 (In Russ., abstract in Eng.)

12. Shaikhiev I.G. [Use of Quercus genus tree components as sorption materials for removal of pollutants from water. Literature review], *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2017, vol. 20, no. 5, pp. 151-160. (In Russ., abstract in Eng.)

13. Stepanova S.V., Kondalenko O.A., Trushkov S.M., Domozhirov V.A. [Oil spill elimination by sorption method using new materials], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2011, no. 10, pp. 159-160. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Nasyrova E.S., Kalsin N.A., Kostryukova N.V., Sultanova D.S. [Assessment of sorption properties of leaf litter in an urbanized area (on the example of the central district of Ufa)], *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2024, no. 3, pp. 52-57. doi: 10.17513/use.38229 (In Russ., abstract in Eng.)

15. GOST 1129-2013. *Maslo podsolnechnoye. Tekhnicheskiye usloviya: mezhgosudarstvennyy standart* [Sunflower oil. Specifications (Interstate standard)], Moscow: Standartinform, 2019, 19 p. (In Russ.)

16. Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G. [et al.] [Lipid composition and membrane-protective effect of extract from the marine green alga Ulva Lactuca (L.)], *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2019, no. 3, pp. 41-51. doi: 10.14258/jcprm.2019035116 (In Russ., abstract in Eng.)

17. Pashkevich V.M., Afanevich V.V. [Computer modeling and analysis of oil capacity of the surface], *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Mogilev State Technical University], 2006, no. 1(10), pp. 198-203. (In Russ., abstract in Eng.)

18. GOST 21119.8-75 (ISO 787-5-80). *Obshchiye metody ispytaniy pigmentov i napolniteley. Opredeleniye masloyemkosti: mezhgosudarstvennyy standart.* [General methods of test for pigments and extenders. Determination of oil absorption value (Interstate standard)], Moscow: Standards Publishing House, 2005, 5 p. (In Russ.)

19. Eremin I.S. *PhD of Candidate's thesis (Ecology)*, Moscow, 2018, 133 p. (In Russ.)

20. Ksenofontov B.S., Kozodaev A.S., Taranov R.A. [et al.], [Treatment of wastewater from vegetable oil plant from fats and suspended solids], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2022, vol. 26, no. 4, pp. 4-8. doi: 10.18412/1816-0395-2022-4-4-8 (In Russ., abstract in Eng.)

21. Stepanova S.V., Shaikhiev I.G., Sverguzova S.V. [Treatment of model wastewater containing heavy metal ions with wheat husk], *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov], 2014, no. 6, pp. 183-186. (In Russ., abstract in Eng.)

22. Starostina I.V., Kiryushina N.Yu., Lushnikov A.S. [et al.], [Study of the sorption process of dissolved petroleum products from aqueous media by carboncontaining material], *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental Protection in the Oil and Gas Complex], 2022, no. 3(306), pp. 60-66. doi: 10.33285/2411-7013-2022-3(306)-60-66 (In Russ., abstract in Eng.)

23. Galimova R.Z. *Obrabotka rezul'tatov issledovaniya protsessov adsorbtsii s ispol'zovaniyem programmnogo obespecheniya Microsoft Excel* [Processing of research results of adsorption processes using Microsoft Excel software], Kazan; Belgorod: Kazan National Research Technological University; Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2017, 59 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Кирюшина Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Экобиотехнологии», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0000-0003-1464-2488; e-mail: Nataeco@mail.ru

Лупандина Наталья Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Экобиотехнологии», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-4473-9080; e-mail: ecnata@mail.ru

Денисова Любовь Васильевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Теоретической и прикладной химии», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-8967-5447; e-mail: loveden13@mail.ru

Поленяка Юлия Тарасовна – аспирант кафедры «Экобиотехнологии», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация; ORCID 0009-0006-9014-2177; e-mail: 717julia@mail.ru

Малыхина Анна Ивановна – студент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация.

About the authors

Natalia Yu. Kiryushina – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecobiotechnology, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0000-0003-1464-2488; e-mail: Nataeco@mail.ru

Natalia S. Lupandina – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecobiotechnology, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0000-0002-4473-9080; e-mail: ecnata@mail.ru

Lyubov V. Denisova – Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Chemistry, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0000-0002-8967-5447; e-mail: loveden13@mail.ru

Yuliya T. Polenyaka – Graduate Student of the Department of Ecobiotechnology, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation; ORCID 0009-0006-9014-2177; e-mail: 717julia@mail.ru

Anna I. Malykhina – Student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation.

Дата поступления 06.04.2026;
после рецензирования 05.06.2026;
дата принятия 15.07.2026

© Кирюшина Н. Ю., Лупандина Н. С., Денисова Л. В., Поленяка Ю. Т., Малыхина А. И., 2026. Данная статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/