

## Геоэкология

DOI: 10.34828/UdSU.2024.81.86.009

УДК 543.544-414

*А.С. Мельникова, Н.В. Кострюкова*

### МЕТА-АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ВОДЕ

**Аннотация.** В данном исследовании произведен анализ методов ликвидации аварийных разливов нефти на водной поверхности. Приведена классификация сорбентов, по различным характеристикам, таким как, свойства и химическая природа материала. Представлен широкий спектр различных сорбирующих материалов для ликвидации разливов нефти, рассмотрена классификация сорбентов по различным критериям. Также проведен библиометрический анализ данных по нефтяным сорбентам, в целях определения тенденции развития данной темы. Была применена новая концепция синтеза исследований, которая сочетает систематическое картографирование с библиометрическим анализом. В ходе исследования были использованы новые подходы к обобщению исследований, этот подход помогает проиллюстрировать эволюцию исследований с течением времени и определить области текущих научных интересов, а также эффективность институтов и модели сотрудничества.

**Ключевые слова:** нефть, разливы нефти, сорбент, нефтесорбенты, ликвидация разливов нефти, сетевой анализ, библиометрический анализ.

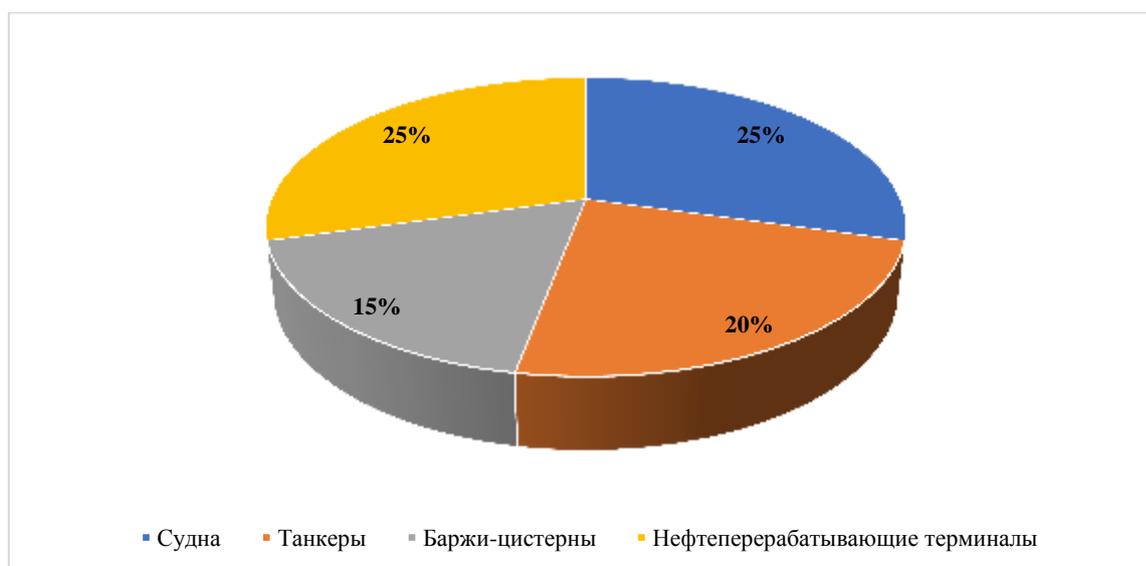
*Для цитирования:* Мельникова А.С., Кострюкова Н.В. Мета-анализ исследований по применению сорбентов для ликвидации разливов нефти на воде // Управление техносферой: электрон. журнал, 2024. Т.7. Вып.3. URL:<https://technosphere-ing.ru> С. 482–497.

DOI: 10.34828/UdSU.2024.81.86.009.

#### Введение

Шестой целью устойчивого развития является: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов [1]. В связи с активным развитием промышленности многие водные ресурсы подвержены антропогенным загрязнениям. Загрязнение водных объектов может происходить в результате чрезвычайных ситуаций, например при аварийном разливе нефти и нефтепродуктов. Разлив нефти – это случайный или преднамеренный выброс нефтяных углеводородов в окружающую среду, в результате деятельности,

осуществляемой человеком. Разлив нефти переносится ветром и течением по водной поверхности, образуя поверхностное пятно, либо рассеивается в воде и накапливается в донных отложениях. Кроме того, температура, соленость и волны также увеличивают скорость распространения нефти. Разлив может произойти на всех этапах работы с нефтью при ее добыче, транспортировке и переработке. На рис. 1 представлены статистические данные по всему миру об объемах разлитой нефти, в результате различных операций [2].

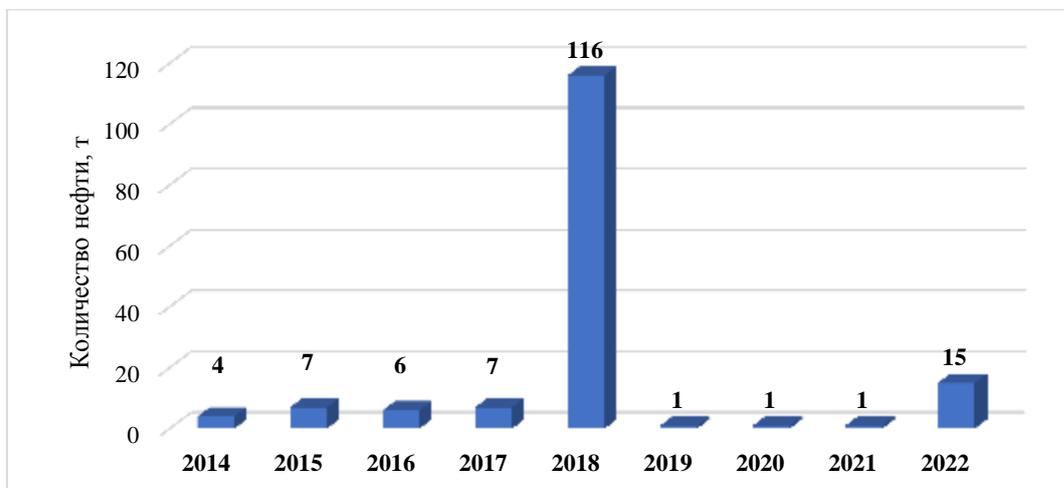


**Рис. 1. Процентное соотношение (%) происхождения разливов нефти в водных объектах**

Согласно данным рис. 1, наиболее значительный объем нефти, попадающей в воду, приходится на суда (25%), танкеры (20%) и баржи-цистерны (15%), в то время как дополнительный процент поступает с нефтеперерабатывающих терминалов (25%).

Аварии, связанные с разливами нефти, угрожают жизни экипажей, наносят большой вред для здоровья людей и большие экономические убытки для транспортных компаний и грузовладельцев. Кроме того, разливы нефти серьезно ухудшают развитие морского хозяйства (рыболовство, туризм) и наносят ущерб морским экосистемам [3]. На рис. 2 изображена диаграмма на

основе данных об объемах утечки нефти в результате инцидентов на танкерах по всему миру с 2014-2022 год [4].



**Рис. 2. Объем утечки нефти в результате инцидентов на танкерах по всему миру с 2014-2022 год**

Проблема аварийных разливов нефти является распространенной в Российской Федерации, по данным мониторинга Росприроднадзора, в 2021 году было зафиксировано 49 аварий, связанных с разливами нефтепродуктов, а в 2022 году – 32 аварии.

Согласно данным, зарегистрированным Международной федерацией по борьбе с загрязнением окружающей среды с круизных судов, в период с 2010 по 2017 год 53 раза происходили крупномасштабные разливы нефти, при этом в море было сброшено около 47 000 тонн сырой нефти, при этом каждая тонна разлившейся нефти оставляет на поверхности воды масляную пленку площадью  $12 \text{ км}^2$ , что приводит к деградации флоры и фауны водных объектов [5].

В настоящее время растущее число аварий привело к постоянному совершенствованию методов ликвидации разливов нефти с целью их немедленного устранения и минимизации их катастрофических последствий [6]. Загрязнения, связанные с нефтяными разливами, являются одним из наиболее наглядных примеров ухудшения качества воды в результате деятельности человека, влияющего на водные экосистемы во всем мире [7, 8].

Выбор метода ликвидации зависит от масштабов разлива и вида водного объекта, где произошёл разлив, характеристик нефтепродукта, а также условий окружающей среды. Способы ликвидации разливов нефти можно разделить на четыре группы: механические, термические, физико-химические и биологические. Для эффективной и быстрой ликвидации аварийных разливов нефти на воде необходимо использование нескольких методов в совокупности, например, для локализации разлива используют механические способы, для сбора нефтепродуктов, очистки воды от нефти применяют физико-химические методы, а для доочистки биологический метод. Самым распространенным способом сбора нефтяного пятна с водной поверхности является применение нефтесорбентов.

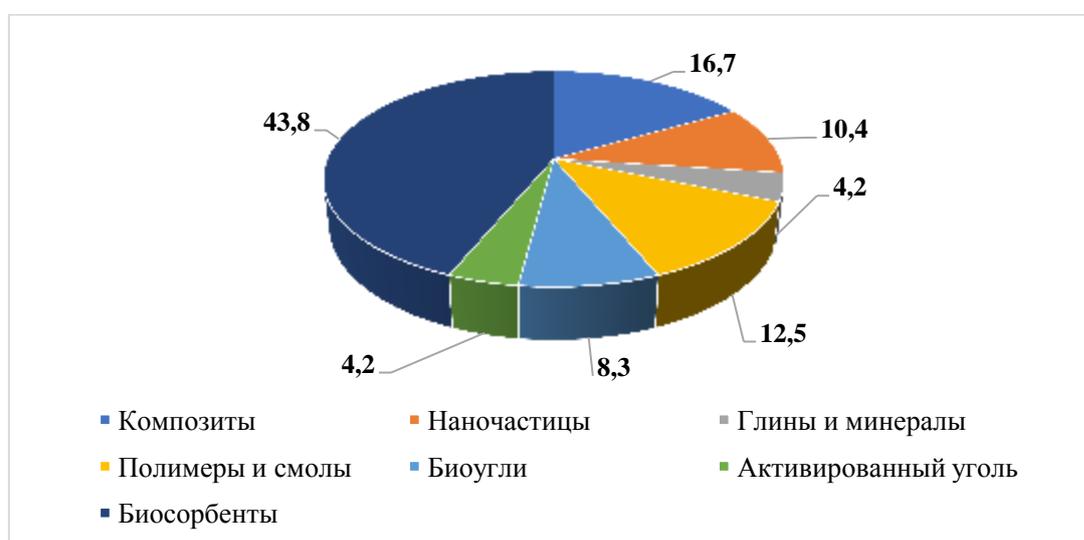
В связи с необходимостью защиты окружающей среды от негативных последствий аварийных разливов нефтепродуктов, тема ликвидации разливов нефти в водных системах является актуальной. Это побудило разных исследователей пересмотреть различные аспекты исследования, особенно в течение последнего десятилетия. Были проведены различные исследования по получению сорбирующих материалов из разного вида сырья и оценке их эффективности.

### **Виды сорбентов**

Материал для сорбции сырой нефти из водной поверхности должен обладать следующими свойствами: высокая сорбирующая способность по отношению к нефти, не токсичность для человека и окружающей среды, плавучесть, способность к регенерации, биоразлагаемость, гидрофобность и низкая стоимость [9].

На сегодняшний день существует множество различных нефтесорбентов, которые можно классифицировать по природе происхождения, функциональному назначению, способу утилизации отработанного сорбента и другим параметрам. К сожалению, приведенные классификации не являются

информативными, сейчас многие исследователи склонны классифицировать нефтесорбенты не только по одному параметру, например исходное сырье, но и по нескольким параметрам, таким как, свойства и химическая природа материала. Согласно этой информации, авторы исследования [10] выделяют 7 классов нефтесорбентов: активированные угли, биоуголи, биосорбенты, глины, минералы, полимеры, смолы, наночастицы и композиты. На рисунке 3 показана частота, с которой различные классы сорбентов для удаления сырой нефти упоминаются в литературе за последние пять лет (с 2016-го по 2021-й год) [11].



**Рис. 3. Частота использования различных классов нефтяных сорбентов**

Согласно данным, представленным на рис. 3, можно отметить, что наиболее часто сообщалось о биосорбентах (43,8 %). Композиты (16,7 %) являются на втором месте по частоте применения находятся активированные угли и глины, а минералы (по 4,2%) используются реже всего. Кроме того, существует еще один класс масляно-водных сорбентов, который известен как олеосорбенты [12]. Однако, об этом классе сорбентов опубликовано мало исследований.

При ликвидации разлива нефти с использованием сорбирующих материалов важным вопросом является утилизация отработанного сорбента,

некоторые материалы не подвергаются биологическому разложению, и в некоторых случаях могут остаться в водной среде.

В связи с этим растет спрос на экологически чистые и недорогие биосорбенты для ликвидации разливов нефти. Также следует отметить, что рост численности населения приводит к увеличению объемов потребления продуктов питания, что приводит к образованию огромного количества органических отходов во всем мире. По этой причине разумнее всего использовать материалы, которые легко поддаются биологическому разложению, например биоотходы или биомассу. Это позволит производить недорогие сорбенты с высокой сорбирующей способностью по отношению к нефти, которые легко масштабировать для ликвидации разливов [13].

Целью данного исследования является обобщение достижения в исследованиях, связанных с получением новых нефтяных сорбентов и эффективной ликвидации разливов нефти на водной поверхности.

### **Методика работы**

Стандартный процесс библиометрического анализа включает следующие этапы: сбор данных, их анализ и интерпретацию. Для поиска соответствующей литературы было решено выбрать базу данных Web of Science, так как она включает в себя множество авторитетных международных научных журналов по выбранной тематике, поиск осуществлялся в Web of Science Core Collection.

Для формирования запроса поиска было принято решение разделить запрос на две части, первая часть запроса включала в себя информацию о материале, ключевыми словами были «сорбенты» или «адсорбенты» или «абсорбенты». Вторая часть запроса содержала информацию об области использования материала, поэтому были выбраны такие ключевые слова как: «нефть» или «разливы нефти» или «сорбция нефти» или «нефтепродукты». В результате было найдено более восьми тысяч статей, при анализе было выявлено, что многие публикации содержат информацию о разливе нефти в

разных средах, так как основной акцент статьи направлен на разливы нефти именно в воде, были добавлены уточняющие слова такие, как «вода» или «море» или «океан» или «реки» или «резервуары» или «источники» или «водные ресурсы». После анализа результата по запросу было выявлено, что многие статьи рассматривают прогнозирование и моделирование разлива нефти, поэтому мы добавили ограничение в запрос не «моделирование». Итоговый запрос был сформирован таким образом: («sorbent\*» OR «adsorbent\*» OR «absorbent\*») AND («oil» OR «oil spill\*» OR «oil sorption» OR «petroleum») AND («water» OR «sea» OR «ocean» OR «river\*» OR «reservoir\*» OR «spring\*» OR «water source» OR) NOT («modeling»), по данному запросу было найдено 3691 публикаций с 1945 по май 2024 года. Для того чтобы все данные были доступны и актуальны было решено ограничить запрос по нескольким критериям: тип документа «статья» и «обзор»; язык публикации «английский». Для получения актуальной информации, соответствующей современным реалиям, мы ограничили год публикации с 2013-го по май 2024-го года. В результате было получено в общей сложности 2899 публикаций.

Анализ полученных данных был произведен двумя способами: (1) библиометрический анализ и (2) визуализация различных категорий (научное картографирование).

Для библиометрического анализа в основном использовались две категории: (1) анализ эффективности и (2) составление научных карт. При анализе эффективности рассматривались несколько показателей для оценки вклада участников исследований (например, стран, институтов, статей и авторов). В результаты настоящего исследования, были определены такие показатели как годовая научная публикационная активность, средняя цитируемость за год и продуктивность автора *bibliometrix* в программном комплексе RStudio.

Научное картографирование, также известное как библиометрическая картография, позволяет получить представление об областях исследований и их

динамическом развитии с течением времени. В этом исследовании использовался анализ, по ключевым словам, публикаций с применением программного обеспечения VOS Viewer. Сетевое сопоставление ключевых слов было основано на ключевых словах, которые встречались как минимум 10 раз во входных данных. Для повышения надежности анализа были исключены слова, не относящиеся к видам сорбентов, например «сорбция», «адсорбция», «разливы нефти», «нефтепродукты», «деградация», «удаление нефти», «абсорбенты», «очистка воды» и другие.

Все статистические анализы были выполнены с использованием пакета “библиометрикс” (Aria и Cuccurullo 2017) на основе RStudio и VOSviewer (версия 1.6.13, Лейденский университет, Нидерланды) (ван Экк и Уолтман).

### Результаты и обсуждение

В результате поиска было найдено 2899 статей в период с 2013 по май 2024 года. Согласно рисунку 4 больше всего статей по теме сорбентов для ликвидации разливов нефти на воде было опубликовано в период с 2021-2023 г. г., это может быть связано с тем, что в 2019 году было зафиксировано 116 случаев утечки нефти в результате транспортировки на танкерах по всему миру. Ежегодно статей по данной тематике публикуется все больше, это свидетельствует об актуальности темы и необходимости исследований по созданию новых нефтяных сорбентов.

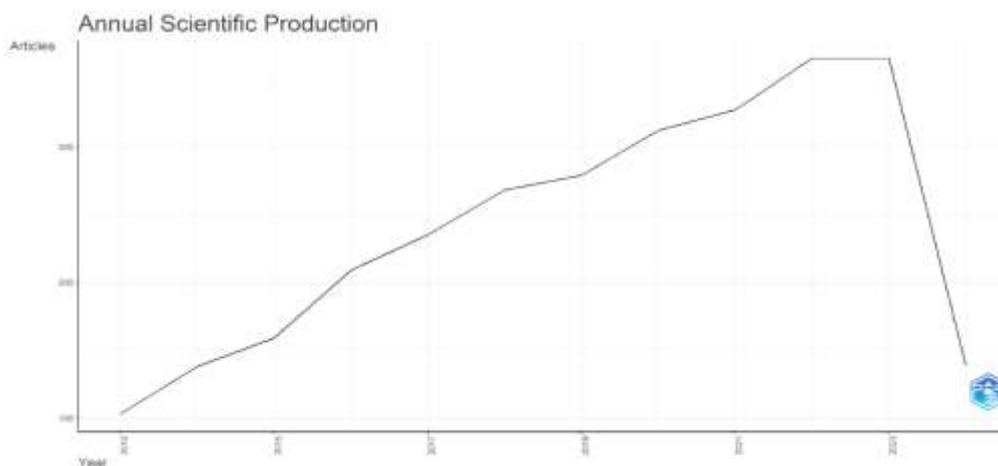
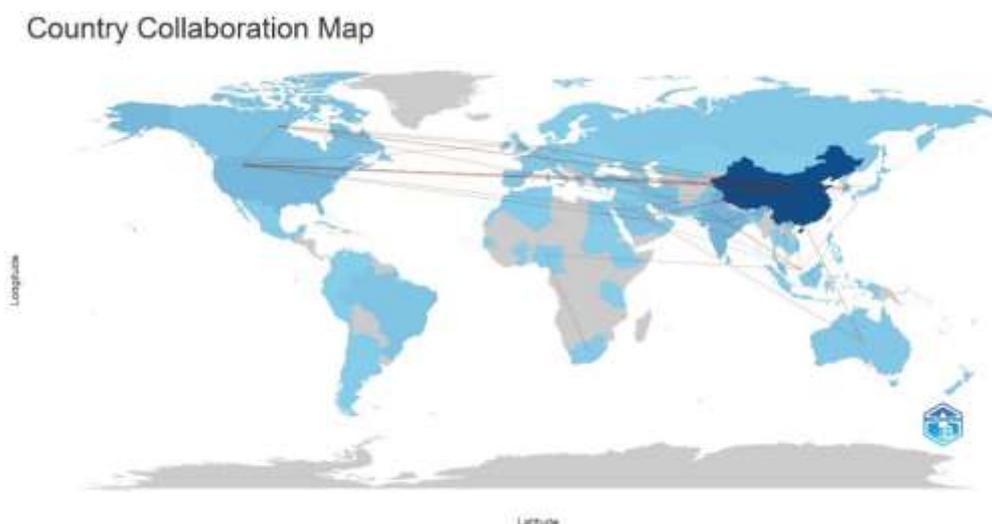


Рис. 4. Ежегодные тенденции в публикациях

В географическом контексте согласно данным рисунка 5, ученые из Китая, опубликовали больше всего статей на данную тему (3091 статьи), 421 публикации, авторами которых являются ученые из Индии и 366 с учеными из США.

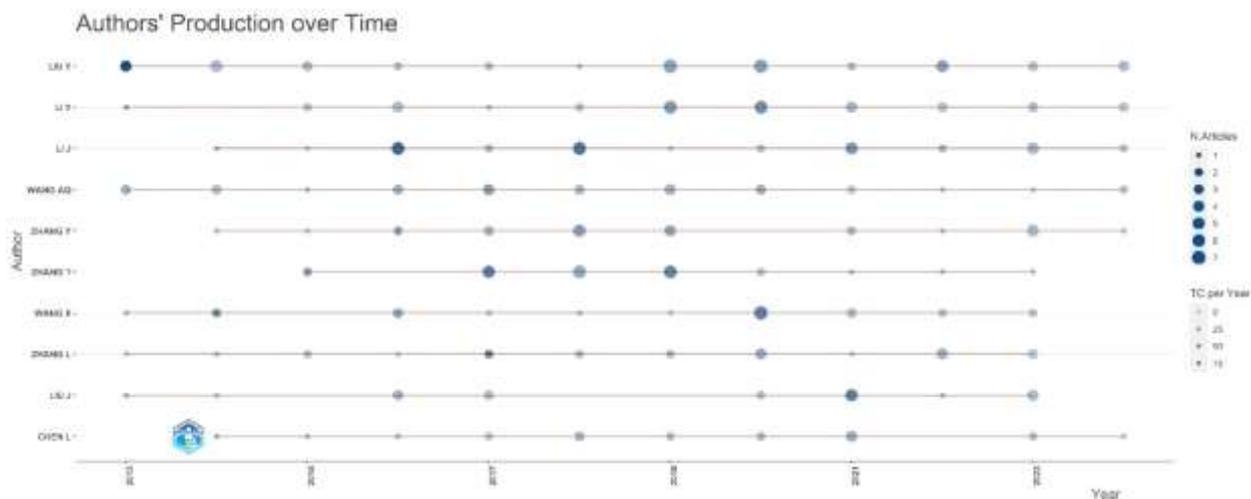
Больше всего совместных исследований на данную тему было между Китаем и США (77 статей), также активно Китай сотрудничает с Канадой (33 статьи) и Великобританией (23 статьи).



**Рис. 5. Географические тенденции в публикациях**

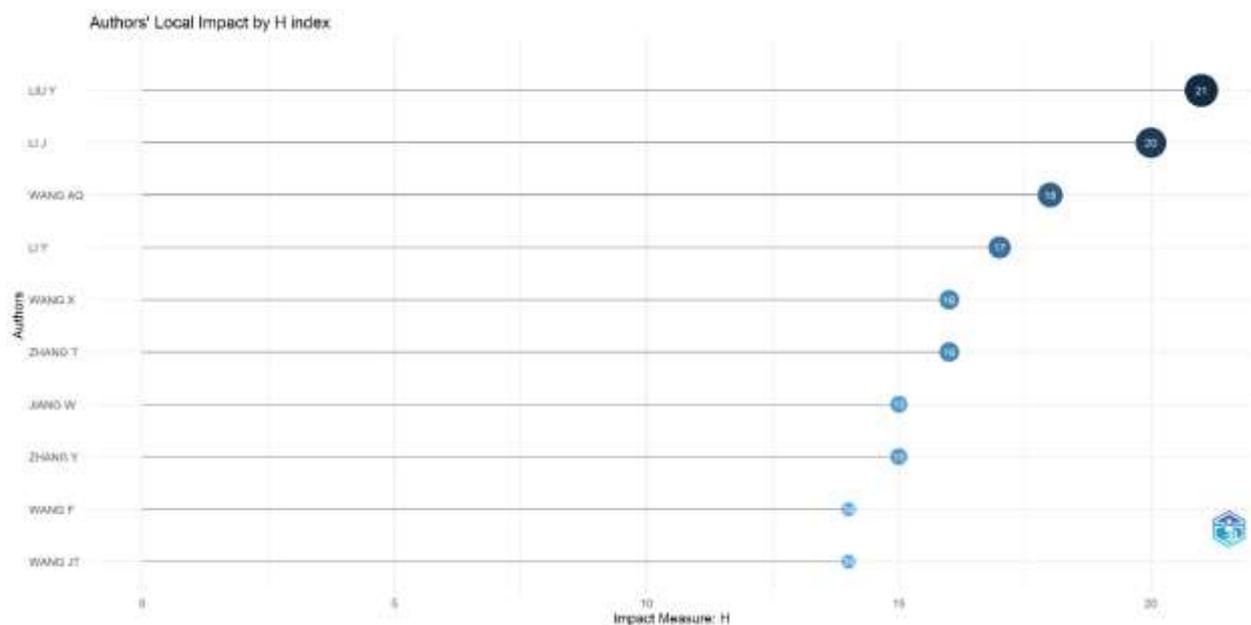
В результате библиометрического анализа было выявлено, что наиболее продуктивной страной по публикациям в теме нефтяных сорбентов является Китай.

Значимость автора в данной области оценивалась с использованием производительности (количества статей, опубликованных автором за данный период) и влияния (количества цитирований получаемый каждый год). На рисунке 6 представлены данные о 10 наиболее продуктивных авторов в области исследований сорбирующих материалов для ликвидации разливов нефти.



**Рис. 6. Ежегодная продуктивность автора и журнала**

Согласно данным рисунка, Liu Y, Li Y и Li J являются наиболее продуктивными авторами. Все эти авторы являются представителями КНР. Для полной оценки релевантности авторов был исследован такой показатель как индекс Хирша (рис. 7).

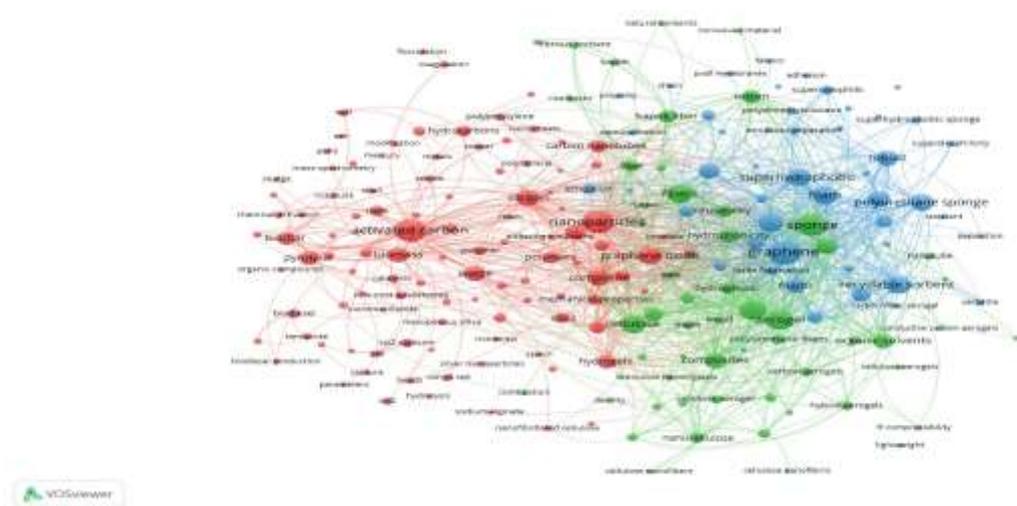


**Рис. 7. Индекс Хирша авторов**

Наиболее цитируемыми авторами, основанными на индексе Хирша, являются Liu Y, Li J, Wang Aq и Li Y, который был на третьем месте при оценке количества статей и количество цитирований.

Наиболее продуктивными журналами по данной тематике были Chemical engineering journal (75 статей), Journal of hazardous materials (97 статей), RSC advances (69 статей), ACS applied materials & interfaces (68 статей).

Для того чтобы понять меняющиеся тенденции в области сорбирующих материалов для ликвидации разливов нефти на воде был проведен комбинированный сетевой анализ, основанный на ключевых словах. Чтобы выявить тематическую структуру, был проведен анализ совпадений ключевых слов исследований (рис. 8).



**Рис. 8. Результаты комбинированного сетевого анализ, основанного на ключевых словах**

В результате анализа было обнаружено три кластерные сети, красного, зеленого и синего цвета. Красная группа содержит набор терминов, связанных с изучением активированных углей, полимеров и наночастиц. При изучении связей красного кластера видно множество связей с такими словами как «отходы», «биомасса», «рисовая шелуха», это свидетельствует о восходящем тренде на использование отходов сельскохозяйственной промышленности в качестве сырья для получения активированных углей и биоугля. Так же следует отметить, что в этом кластере обнаружены ключевые слова описывающие способы модификации сырья для улучшения сорбционных способностей, например «химическая активация», «пиролиз». Зеленая группа включает в себя

термины «аэрогели», «губка», «фибры», «композиты» и «целлюлоза». Синяя группа отражает термины, связанные с сорбирующими материалами в виде пен, гелей, мембран. Стоит отметить, что при прочтении анализируемых статей было найдено много исследований, темой которых является производство пектина из остатков яблок и отходов свеклосахарной промышленности. Также интересным термином в этой категории является «графен» — это двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом. Все эти группы тесно связаны между собой и имеют множество связей.

### **Заключение**

В текущем исследовании были изучены статистические данные по разливам нефти, было выявлено, что наиболее значительный объем нефти, попадающей в воду в результате разлива, приходится на суда (25%), также 25% приходится на нефтеперерабатывающие терминалы. Самый большой объем утечки нефти (118 тонн) в результате инцидентов на танкерах был зафиксирован в 2016-м году.

Рассмотрена классификация нефтесорбентов по нескольким параметрам, таким как: свойства и химическая природа материала, в результате было выделено 7 классов. Самым часто используемым классом сорбентов является класс биосорбентов (43,8%), а также композитов (16,7 %). Эти данные свидетельствуют о росте спроса на экологически чистые и недорогие сорбенты из органического сырья.

В результате библиометрического анализа было выявлено, что больше всего статей по теме было опубликовано в период с 2021-2023 г. г., а наиболее продуктивной страной по публикациям в теме нефтяных сорбентов является Китай. Самыми продуктивными авторами по теме являются представители Китая, Liu Y, Li Y и Li J.

Произведен комбинированный сетевой анализ, основанный на ключевых словах, в результате было выявлено три кластерные сети. Первая сеть содержит набор терминов, связанных с изучением активированных углей, полимеров и наночастиц, вторая сеть включает в себя термины «аэрогели», «фибры» и «композиты». А в третьей сети отражены термины, связанные сорбирующими материалами в виде пен, гелей, мембран.

Таким образом было выявлено, что обзор существующих исследований может помочь определить их текущий статус, выявить существующие проблемы и передовые направления исследований. Результаты настоящего демонстрируют, необходимость в продолжении исследований, связанных с получением сорбирующих материалов из органических отходов, а также в усовершенствовании технологий модификации этих материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Организация объединённых наций. URL: <https://sdgs.un.org/ru>. (дата обращения: 14.05.2024).
2. Мишель Дж., Фингас М. Разливы нефти: причины, последствия, предотвращение и контрмеры // Ископаемое топливо: текущее состояние и направления на будущее. 2016. С. 159 – 201. [https://doi.org/10.1142/9789814699983\\_000](https://doi.org/10.1142/9789814699983_000)
3. Галерикова А., Матерна М. Мировая морская торговля нефтью: одна из основных причин разливов нефти? // Процесс транспортных исследований. 2020. Т. 44. С. 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.039>
4. Мировой объем разливов нефти из танкеров в 2023 году. Статистика. URL: <https://www.statista.com/statistics/268557/quantity-of-oil-spilt-from-tanker-incidents-since-1970/>. (дата обращения: 17.05.2024).
5. Dong T., Li Q., Tian N., Zhao H., Zhang Y., Han G. Concus Finn capillary driven fast viscous oil-spills removal by superhydrophobic cruciate polyester fibers, Journal of Hazardous Materials, 2021, vol. 417, Part A. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130193>
6. Chang, S.E., Stone, J., Demes, K., Piscitelli M. Consequences of oil spills: A review and framework for informing planning, Ecology and Society, 2014, vol. 19. <https://doi.org/10.5751/ES-06406-190226>

7. Brody, T.M., Bianca, P.D., Krysa, J. Analysis of Inland Crude Oil Spill Threats, Vulnerabilities, and Emergency Response in the Midwest United States, *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 32, no. 10, pp. 1741–1749. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01813.x>
8. Kolokoussis, P., Karathanassi V. Oil Spill Detection and Mapping Using Sentinel 2 Imagery, *Journal of Marine Science and Engineering*, 2018, vol. 6, pp. 4. <https://doi.org/10.3390/jmse6010004>
9. Li H., Liu L., Yang F. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup, *Journal of Marine Science and Engineering*, 2012, vol. 64, no. 8, pp. 1648–1653. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.039>
10. Hammouda, S.B., Chen Z., An C., Lee K. Recent advances in developing cellulosic sorbent materials for oil spill cleanup: a state-of-the-art review, *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 311, pp. 127630. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127630>
11. Iwuzor K.O., Ighalo J.O., Emenike E.C., Ogunfowora L.A., Igwegbe C.A. Adsorption of methyl orange: a review on adsorbent performance, *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, vol. 4, no. 16.
12. Emenike E. C. Adeleke J., Kingsley I. O., Ogunniyi S., Comfort A. A., Temitope A. V., Hussein O. K., Adewale A. G. Adsorption of crude oil from aqueous solution: A review, *Journal of Water Process Engineering*, 2022, vol. 50, pp. 103330. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103330>
13. Кострюкова Н.В., Мельникова А.С., Платонова А.М. Анализ сорбирующих характеристик модифицированного отхода сахарного производства // *Вестник НЦ БЖД*. 2022. №3 (53). С. 108–116.

Поступила в редакцию: 25.06.2024

### ***Сведения об авторах***

*Мельникова Анна Сергеевна*

Инженер, аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», 450076 Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, дом 32. Россия.

E-mail: [annamel7@mail.ru](mailto:annamel7@mail.ru)

*Кострюкова Наталья Викторовна*

Кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Безопасности производства и промышленной экологии». ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», 450076 Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, дом 32. Россия.

E-mail: [kostrukova@list.ru](mailto:kostrukova@list.ru)

*A.S. Melnikova, N.V. Kostryukova*

## META-ANALYSIS OF STUDIES ON THE USE OF SORBENTS FOR OIL SPILL RESPONSE ON WATER

**Annotation.** This study analyzes the methods of oil spill response on water surface. The classification of sorbents, according to various characteristics such as properties and chemical nature of the material, is given. A wide range of different sorbent materials for oil spill response is presented and classification of sorbents according to different criteria is discussed. A bibliometric analysis of data on oil sorbents has also been carried out in order to determine the trend of this topic. A new concept of research synthesis has been applied, which combines systematic mapping with bibliometric analysis. New approaches to research synthesis have been used, which help to illustrate the evolution of research over time and to identify areas of current research interest, as well as the effectiveness of institutions and collaborative models.

**Keywords:** oil, oil spills, sorbent, oil sorbents, oil spill response, network analysis, bibliometric analysis.

*For citation:* Melnikova A.S., Kostryukova N.V. [Meta-analysis of studies on the use of sorbents for oil spill response on water] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2024, vol. 7, issue 3. (In Russ.). Available at: <https://technosphere-ing.ru>/ pp. 482–497. DOI: 10.34828/UdSU.2024.81.86.009.

## REFERENCES

1. *Organizatsiya ob'edinennykh natsii* [The United Nations]. Available at: <https://sdgs.un.org/ru>. (Accessed: 14.05.2024).
2. Mishel' Dzh., Fingas M. Razlivy nefi: prichiny, posledstviya, predotvrashchenie i kontrmery [Oil Spills: Causes, Consequences, Prevention, and Countermeasures]. *Iskopaemoe toplivo: tekushchee sostoyanie i napravleniya na budushchee* [Fossil Fuels: Current Status and Future Directions]. 2016, pp. 159–201. [https://doi.org/10.1142/9789814699983\\_000](https://doi.org/10.1142/9789814699983_000)
3. Galerikova A., Materna M. Mirovaya morskaya trgovlya nef'tyu: odna iz osnovnykh prichin razlivov nefi? [World Seaborne Trade with Oil: One of Main Cause for Oil Spills?]. *Protsess transportnykh issledovaniy* [Transportation Research Procedia]. 2020, vol. 44, pp. 297 – 304. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.039>
4. *Mirovoi ob'em razlivov nefi iz tankerov v 2023 godu. Statistika* [Global oil tanker volume spilled 2023. Statista]. Available at: <https://www.statista.com/statistics/268557/quantity-of-oil-spilt-from-tanker-incidents-since-1970/>. (Accessed: 17.05.2024).
5. Dong T., Li Q., Tian N., Zhao H., Zhang Y., Han G. Concus Finn capillary driven fast viscous oil-spills removal by superhydrophobic cruciate polyester fibers, *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 417, Part A. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130193>

6. Chang, S.E., Stone, J., Demes, K., Piscitelli M. Consequences of oil spills: A review and framework for informing planning, *Ecology and Society*, 2014, vol. 19. <https://doi.org/10.5751/ES-06406-190226>
7. Brody, T.M., Bianca, P.D., Krysa, J. Analysis of Inland Crude Oil Spill Threats, Vulnerabilities, and Emergency Response in the Midwest United States, *Risk Analysis*, 2012, vol. 32, no. 10, pp. 1741–1749. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01813.x>
8. Kolokoussis, P., Karathanassi V. Oil Spill Detection and Mapping Using Sentinel 2 Imagery, *Journal of Marine Science and Engineering*, 2018, vol. 6, pp. 4. <https://doi.org/10.3390/jmse6010004>
9. Li H., Liu L., Yang F. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup, *Journal of Marine Science and Engineering*, 2012, vol. 64, no. 8, pp. 1648–1653. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.039>
10. Hammouda, S.B., Chen Z., An C., Lee K. Recent advances in developing cellulosic sorbent materials for oil spill cleanup: a state-of-the-art review, *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 311, pp. 127630. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127630>
11. Iwuozor K.O., Ighalo J.O., Emenike E.C., Ogunfowora L.A., Igwegbe C.A. Adsorption of methyl orange: a review on adsorbent performance, *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 2021, vol. 4, no. 16.
12. Emenike E. C. Adeleke J., Kingsley I. O., Ogunniyi S., Comfort A. A., Temitope A. V., Hussein O. K., Adewale A. G. Adsorption of crude oil from aqueous solution: A review, *Journal of Water Process Engineering*, 2022, vol. 50, pp. 103330. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103330>
13. Kostryukova N.V., Mel'nikova A.S., Platonova A.M. Analiz sorbiruyushchikh kharakteristik modifitsirovannogo otkhoda sakharnogo proizvodstva [Analysis of sorbing characteristics of modified sugar production waste]. *Vestnik NTs BZhd [Bulletin of the life safety]*. 2022, no.3 (53), pp. 108 – 116.

Received: 25.06.2024

#### ***About the Authors***

*Melnikova Anna Sergeevna*

Engineer, graduate student, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Zaki Validi str., 32, 450076 Republic of Bashkortostan, Ufa.

E-mail: [annamel7@mail.ru](mailto:annamel7@mail.ru)

*Kostyukova Natalia Viktorovna*

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Industrial Ecology. Ufa University of Science and Technology, Ufa, Zaki Validi str., 32, 450076 Republic of Bashkortostan, Ufa.

E-mail: [kostrukova@list.ru](mailto:kostrukova@list.ru)