

УДК 639.331.5

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА СОРБЦИИ ПРИ ПОИСКЕ ОЧИСТИТЕЛЕЙ К ХИМИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

Цыгута А. Н.^{1,2}, Головацкая Л. И.¹

¹Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ВГУВТ, г. Астрахань, Россия

²Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Статья поступила 19.03.2025, принята к публикации 31.03.2025. Опубликовано онлайн.

Аннотация. В статье рассмотрены различные типы сорбентов, применяемых для нейтрализации нефтепродуктов в воде. Приведены классификация сорбентов по основным типам и сравнительная диаграмма процента очистки воды различными типами сорбентов. Отмечается, что сорбционный материал может применяться как компонент внутри фильтра, просто засыпаться в воду

или распыляться над поверхностью воды. В результате рассмотренных данных сделан вывод, что способ очистки балластной воды с помощью сорбции является эффективным.

Ключевые слова: балластная вода, сорбция, загрязнители, очистка воды, сорбент, нефтепродукты

THE EFFECTIVENESS OF THE SORPTION METHOD IN THE SEARCH FOR PURIFIERS FOR CHEMICAL POLLUTANTS IN BALLAST WATER

Tsyguta A. N.^{1,2}, Golovatskaya L. I.¹

¹Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F. M. Apraksin – branch of Volga State University of Water Transport, Russia, Astrakhan

²Volga State University of Water Transport, Russia, Nizhny Novgorod

Abstract. The article discusses various types of sorbents used to neutralize petroleum products in water. The classification of sorbents by main types and a comparative diagram of the percentage of water purification by different types of sorbents are presented. It is noted that the sorption material can be used as a component inside

the filter, simply poured into water or sprayed over the surface of the water. As a result of the data reviewed, it is concluded that the method of ballast water purification by sorption is effective.

Keywords: ballast water, sorption, pollutants, water purification, sorbent, petroleum products

Введение

Загрязнение водных ресурсов является одной из серьезных экологических проблем, оказывающих негативное воздействие как на состояние экосистем, так и на здоровье человека. Вода, содержащая опасные примеси, может привести к острым и хроническим заболеваниям, включая поражение нервной системы, нарушения внутренних функций органов и развитие онкологических патологий.

Среди наиболее опасных загрязнителей можно выделить тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды и патогенные соединения, которые способны накапливаться в организме человека, приводя к негативным последствиям. Очистка воды от подобных

соединений представляет собой приоритетную задачу, требующую использования технологий и экологически чистых реагентов или сорбентов.

Наиболее распространённые методы очистки балластной воды, такие как фотокатализ, озонирование, биологическая деградация, плохо справляются с удалением некоторых загрязнителей. В настоящее время для удаления загрязнителей из воды широко используется адсорбция.

Сорбент – это материал, обладающий высокой способностью удерживать или притягивать к себе загрязняющие вещества. В зависимости от происхождения сорбенты классифицируются на несколько основных типов [1] представленных на рисунке 1.

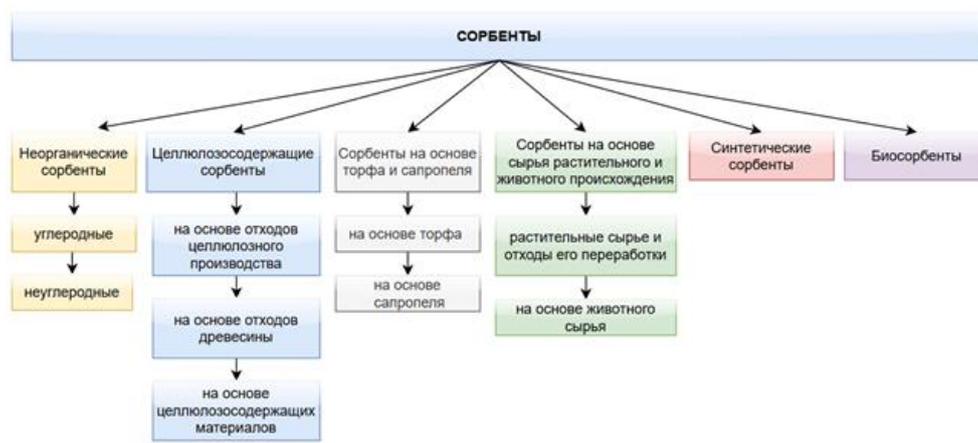


Рис. 1. Типы сорбентов

Материалы и методы

Рассмотрен ряд исследований, в которых предлагаются различные сорбенты для очистки водных объектов от нефтепродуктов.

Авторами Eghe Amenze Oyedoh и Onyedikachi Praise Igbokwe [2] разработан новый биокompозитный адсорбент путём объединения модифицированного гидроксидом натрия активированного угля с цеолитом для эффективного удаления углеводов из пластовой воды. Результаты показали, что эффективность удаления углеводов составляет 99,86%.

Авторы Собгайда Н.А. и Финаенов А.И. [3] считают, что углеродные сорбенты с высокой пористостью являются эффективными для очистки вод от нефтепродуктов. В своей работе они рассмотрели терморасширенный графит, полученный электрохимическим способом, в качестве эффективного сорбента для удаления нефтепродуктов.

Экспериментальные исследования показывают, что данный сорбент можно применять двумя способами: засыпать в фильтр или вносить на поверхность воды в сыпучем виде.

В первом случае при использовании 0,1 г сорбента на 86 г нефтепродукта степень очистки составила 97,56%. Во втором случае, при той же массе сорбента и нефтепродуктов, степень очистки достигла 98,8%. Дополнительно было установлено, что 1 г терморасширенного графита удалось поглотить до 1643 г нефтепродукта, что обеспечивает его высокие сорбционные характеристики и перспективность применения в комплексной очистке водных объектов.

В другом подходе, разработанном авторами Сафроновой Т.М., Пластуном В.И., Гриденко В.В. [4] при очистке поверхности воды от нефтепродуктов используется распыление хитина или хитозана над ней. После распыления сорбенты активно связывают нефтяные загрязнения, после чего их собирают с поверхности воды и используют в качестве топлива, что делает данный метод не только эффективным, но и ресурсосберегающим. В случае использования 1 г хитина на 4 грамма нефтепродукта степень очистки составила 97,90%, а при использовании хитозана – 99,52%.

В работе авторов Мельникова И.Н., Ольшанской Л.Н., Остроумова И.Г., Пичхидзе С.Я. [5] представлен порошкообразный магнитный сорбент, предназначенный для ликвидации нефтепродуктов из воды. Данный сорбент предлагается распылять над загрязнёнными акваториями, после чего его собирают с поверхности с использованием судов, оснащённых магнитными приспособлениями. Такой метод позволяет не только эффективно удалять нефтяные загрязнения, но и многократно использовать сорбент, что снижает затраты на очистку.

Сорбент разработан на основе измельченного активированного кокосового угля. Экспериментальные данные показывают, что степень очистки достигает 100% при добавлении 1 г сорбента к 7 г нефтепродукта, что подтверждает его эффективность в удалении углеводородных загрязнителей из водной среды.

Авторы патента Гребенкин А.А. и Гребенкин А.Н. [6] разработали сорбент, состоящий из осадка-скопа, являющегося отходом целлюлозно-бумажного производства, к которому добавлен метилсиликат натрия в соотношении 80:20. Такой сорбент обладает высокой адсорбционной способностью и сохраняет плавучесть до 10 дней, что является его преимуществом по сравнению с другими подобными сорбентами.

В патенте авторами Кабловым В.Ф., Костиным В.Е., Хлобжевой И.Н. и др. [7] представлен гранулированный сорбент на основе тростника обыкновенного – растения, широко распространенного в дельтовых и прибрежных зонах. Его использование позволяет не только эффективно очищать воду, но и решает проблему утилизации сорного растения. Работа авторов Алыкова Н.М., Золотаревой Н.В., Алыковой Т.В. и др. [8] расширяет область применения сорбентов из тростника, проверяя их способность удалять в статических условиях не только нефтепродукты, но и фенолы, железо, медь и цинк.

Проведенные эксперименты показали, что степень очистки воды от нефтепродуктов достигает 100%. Исследователи Давыдова Е.В., Ким А.Н., Джигола Л.А. и Капизова А.М. [9] модифицировали сорбент на основе тростника, придав ему гидрофобные свойства, экспериментально доказав повышение показателей в динамической модели, что повышает степень очистки и сорбционные свойства данного материала.

Авторы Савенкова И.В., Пивоварова Н.А., Абакумова Е.Н. [10] в своей работе исследовали возможность использования Каменнаярской опоки Астраханской области, природного кремнистого минерала, в качестве сорбента для очистки водной поверхности от нефтепродуктов. Экспериментальные данные показывают, что наибольшая нефтеёмкость при стандартных частицах сорбента 2,5 мм составляет 0,79–0,88 г/г.

Наилучшие результаты были получены при соединении сорбента с мазутом, что свидетельствует о склеивании поверхностей двух материалов.

Результаты

Представленные в работе сорбенты обладают различными свойствами и возможностями при очистке водных объектов от нефтепродуктов, все они имеют свои преимущества и особенности, которые определяют их продуктивность и способ

применения. Выбор конкретного типа сорбента зависит от условий окружающей среды, требований к степени очистки и экономической целесообразности.

Важно учитывать не только степень очистки сорбента, но и его влияние на экологическую ситуацию, возможность вторичного использования и утилизации.

На рисунке 2 представлена диаграмма, отражающая эффективность различных сорбентов в разных типах проведенных экспериментов.



Рис. 2. Сравнительная диаграмма процента очистки воды различными типами сорбентов

В рассмотренных статьях исследовались взаимосвязи нефтеемкости от температуры, вязкости и плотности нефтепродуктов и гранулометрического состава самих сорбентов.

Для сравнительного анализа сорбентов было принято использовать следующие характеристики:

- 1) тип сорбента, под которым подразумевается определение материалов способных поглощать нефтепродукты;
- 2) технология апробирования действия сорбента, которая означает процесс оценки

эффективности различных сорбентов в удалении углеводородов из загрязненных вод;

3) эффективность удаления углеводородов, которая показывает эффективность сорбента при очистке;

4) результаты эксперимента, проведенного авторами рассмотренных публикаций и возможность использования в топливе.

Проведенный сравнительный анализ представлен в таблице 1.

Сравнительный анализ основных характеристик сорбентов

Сорбент	Тип сорбента	Технология апробирования	Эффективность удаления углеводородов	Результаты эксперимента	Использование как добавки в топливо
Активированный уголь + цеолит	Модифицированный гидроксидом натрия	Адсорбция	99,89%	Высокая эффективность удаления	–
Терморасширенный графит	Получен электрохимическим способом	Засыпка в фильтр / сыпучий на поверхность	97,56% (фильтр), 98,8% (поверхность)	Поглощает до 1643 г нефтепродукта на 1 г сорбента	+
Химин / Хитозан	Природные полимеры	Распыление над водой	97,9% (хитин), 99,52% (хитозан)	Поглощает 7 г нефтепродукта на 1 г сорбента	+
Порошкообразный магнитный сорбент	Активированный кокосовый уголь	Распыление над загрязненной водой	100%	1 г сорбента – 9 г нефтепродукта Многоразовое использование, магнитная сборка	–
Сорбент из осадка-скопа	Отходы целлюлозно-бумажного производства	Адсорбция	–	1 г сорбента – 3,6 г нефтепродукта, плавучесть до 10 дней	–
Гранулированный сорбент из тростника	Тростник обыкновенный	Адсорбция	100%	Утилизация сорного растения	–
Модифицированный сорбент из тростника	Гидрофобный тростник	Адсорбция	Повышенные показатели в динамической модели	Увеличенная степень очистки	–
Каменноярская опока	Природный кремнистый минерал	Адсорбция	0,79–0,88 г/г	Наилучшие результаты с мазутом	–

Обсуждение и выводы

На основании полученных данных можно сделать вывод, что способ очистки балластной воды с помощью сорбции является эффективным, поскольку ориентирован на извлечения конкретных типов загрязнителей. Этот метод особенно актуален при очистке балластных вод, содержащих разнообразные опасные химические вещества.

Благодаря использованию метода сорбции удастся удалять специфические загрязнители, такие как нефтепродукты. Сорбционный материал может применяться как

компонент внутри фильтра, просто засыпаться в воду или распыляться над поверхностью воды. Это обеспечивает гибкость в разработке технологических систем очистки.

Способ сорбции может быть усовершенствован дополнительными технологическими решениями, например, с помощью магнитных свойств сорбента, что упрощает разделение веществ и их восстановление после процесса очистки. Это позволяет снизить затраты на утилизацию.

В настоящее время в качестве сорбентов используют не только неорганические вещества, но и органические. Сорбционный метод способствует соблюдению экологических стандартов и сохранению водных экосистем.

Список литературы

1. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.
2. Eghe Amenze Oyedoh, Onyedikachi Praise Igbokwe, Evaluation of novel NaOH/activated carbon/zeolite biocomposite as an efficient adsorbent for oilfield produced water treatment, South African Journal of Chemical Engineering, Volume 51, 2025, Pages 302-314.
3. Собгайда, Н. А. Новые углеродные сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов / Н. А. Собгайда, А. И. Финаенов // Экология и промышленность России. – 2005. – № 12. – С. 8-11. – EDN JXUJWB
4. Авторское свидетельство № 783329 А1 СССР, МПК С09К 3/32. Способ очистки поверхности воды от нефти и нефтепродуктов: № 2634303: заявл. 26.06.1978: опубл. 30.11.1980 / Т. М. Сафронова, В. И. Пластун, В. В. Гриденко; заявитель Дальневосточный технический институт рыбной промышленности и хозяйства «ДАЛЬРЫБВТУЗ». – EDN SCIROF
5. Патент № 2805655 С1 Российская Федерация, МПК В01J 20/06, В01J 20/26, В01J 20/20. Порошкообразный магнитный сорбент для сбора нефти: № 2022116207: заявл. 15.06.2022: опубл. 23.10.2023 / И. Н. Мельников, А. Н. Ольшанская, И. Г. Остроумов, С. Я. Пичхидзе; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». – EDN VYLYLV
6. Патент № 2798581 С1 Российская Федерация, МПК В01J 20/24, В01J 20/30, С02F 1/28. Способ получения сорбента для очистки водной поверхности от нефти и

нефтепродуктов: № 2022132320: заявл. 09.12.2022: опубл. 23.06.2023 / А. А. Гребенкин, А. Н. Гребенкин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Естественные технологии». – EDN VWAYKZ

7. Патент № 2625107 С1 Российская Федерация, МПК В01J 20/24, В01J 20/30. способ получения гранулированного сорбента на основе тростника обыкновенного: № 2016137316: заявл. 19.09.2016: опубл. 11.07.2017 / В. Ф. Каблов, В. Е. Костин, И. Н. Хлобжева [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ). – EDN ZTYBFR

8. Очистка водных сред от органических и неорганических соединений углерод-минеральным сорбентом из Тростника Южного / Н. М. Алыков, Н. В. Золотарева, Т. В. Алыкова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 4. – С. 54-59. – EDN YNFEKX

9. Некоторые аспекты исследования природного сорбента на основе тростника южного обыкновенного в практике очистки водных сред от сложных углеводов / Е. В. Давыдова, А. Н. Ким, А. А. Джигола, А. М. Капизова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4(30). – С. 25-29. – EDN PZXTSZ

10. Савенкова, И. В. Исследование нефтеемкости природных опок Астраханской области / И. В. Савенкова, Н. А. Пивоварова, Е. Н. Абакумова // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2024. – № 1. – С. 15-20. – DOI 10.24143/1812-9498-2024-1-15-20. – EDN QJRSFP

References

1. Kamenshchikov F.A., Bogomol'nyi E.I. Neftiane sorbenty [Petroleum sorbents]. Moscow – Izhevsk, Institut komp'iuternykh issledovaniy, 2003, 268 p.

2. Eghe Amenze Oyedoh, Onyedikachi Praise Igbokwe, Evaluation of novel NaOH/activated carbon/zeolite biocomposite as an efficient adsorbent for oilfield produced water treatment, South African Journal of Chemical Engineering, Volume 51, 2025, Pages 302-314.
3. Sobgaida N.A., Finaenov A.I. Novye uglerodnye sorbenty dlia ochistki vody ot nefteproduktov [New carbon sorbents for water purification from petroleum products]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2005, no 12. pp. 8-11.
4. Safronova T.M., Plastun V.I., Gridenko V.V. Sposob ochistki poverkhnosti vody ot nefti i nefteproduktov [A method for cleaning the surface of water from oil and petroleum products]. Avtorskoe svidetel'stvo no 783329 A1 SSSR, MPK C09K 3/32 (1980).
5. Mel'nikov I.N., Ol'shanskaia L.N., Ostroumov I.G., Pichkhidze S.I.A. Poroshkoobraznyi magnitnyi sorbent dlia sbora nefti [Powdered magnetic sorbent for oil collection]. Patent no 2805655 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK B01J 20/06, B01J 20/26, B01J 20/20 (2023).
6. Grebenkin A.A., Grebenkin A.N. Sposob polucheniia sorbenta dlia ochistki vodnoi poverkhnosti ot nefti i nefteproduktov [A method for obtaining a sorbent for cleaning the water surface from oil and petroleum products] Patent no 2798581 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK B01J 20/24, B01J 20/30, C02F 1/28 (2023).
7. Kablov V.F., Kostin V.E., KHlobzheva I.N. sposob polucheniia granulirovannogo sorbenta na osnove trostnika obyknovennogo [a method for producing a granular sorbent based on common reed]. Patent no 2625107 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK B01J 20/24, B01J 20/30 (2017).
8. Alykov N. M., Zolotareva N. V., Alykova T. V. Ochistka vodnykh sred ot organicheskikh i neorganicheskikh soedinenii uglerod-mineral'nym sorbentom iz Trostnika IUzhnogo [Purification of water media from organic and inorganic compounds with carbon-mineral sorbent from Southern Reed]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia, 2017, no 4, pp. 54-59.
9. Davydova E.V., Kim A.N., Dzhigola L.A., Kapizova A. M. Nekotorye aspekty issledovaniia prirodnogo sorbenta na osnove trostnika iuzhnogo obyknovennogo v praktike ochistki vodnykh sred ot slozhnykh uglevodorodov [Some aspects of the study of a natural sorbent based on common reed in the practice of purifying aquatic environments from complex hydrocarbons]. Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiia, 2019, no 4(30), pp. 25-29.
10. Savenkova I.V., Pivovarova N.A., Abakumova E.N. Issledovanie nefteemkosti prirodnykh opokov Astrakhanskoi oblasti [Investigation of the oil capacity of natural deposits in the Astrakhan region]. Neftegazovye tekhnologii i ekologicheskaiia bezopasnost', 2024, no 1, pp. 15-20.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/ ABOUT THE AUTHORS

Анна Николаевна Цыгута, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5; старший преподаватель кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ВГУВТ, 414000, Астрахань, ул. Никольская, стр. 6, anna.tsyguta@mail.ru

ORCID: 0009-0008-3733-8108

Anna Nikolaevna Tsyguta, Postgraduate, Volga State University of Water Transport., 5 str. Nesterova, Nizhny Novgorod, Russia, 603950; Senior lecturer of the Department «Mathematical and Natural Sciences», Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F. M. Apraksin – branch of Volga State University of Water Transport, 6 Nikolskaya St, Astrakhan, Russia, 414000

Леся Ивановна Головацкая, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ВГУВТ, 414000, Астрахань, ул. Никольская, стр. 6, lesy_g@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7181-2845

Lesya Ivanovna Golovatskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of «Mathematical and Natural Sciences», Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F. M. Apraksin – branch of Volga State University of Water Transport, 6 Nikolskaya St, Astrakhan, Russia, 414000,