

УДК 628.349.087

Комплексный подход к очистке сточных вод от нефтепродуктов при промывке загрязненного песка

Бондаренко Анна Викторовна^(*)

avbondarenko@bmstu.ru

Ксенофонтов Борис Семенович

ksenofontov@bmstu.ru

Капитонова Светлана Николаевна

s.n.kapitonova@bmstu.ru

Панова Евгения Ильинична

panovaei@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены методы очистки сточных вод, образующихся после отмывки песка, загрязненного мазутом. Проанализированы технологии удаления нефтепродуктов и взвешенных веществ в соответствии с рекомендациями информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ). Проведены экспериментальные исследования, включающие реагентную обработку с подбором оптимальной дозы коагулянта и электрокоагуляцию. Установлено, что одностадийная реагентная обработка недостаточна для подготовки воды к фильтрованию. Наилучшие результаты получены при использовании электрокоагуляции, позволяющей использовать двухступенчатую схему очистки, обеспечив эффективность удаления загрязнений 87,2–90,7 %.

Ключевые слова: очистка воды от нефтепродуктов, загрязнение мазутом, электрокоагуляция, реагентная обработка, флотация, фильтрование

An integrated approach to wastewater treatment from oil products during contaminated sand washing

Bondarenko Anna Viktorovna^(*)

avbondarenko@bmstu.ru

Ksenofontov Boris Semenovich

ksenofontov@bmstu.ru

Kapitonova Svetlana Nikolaevna

s.n.kapitonova@bmstu.ru

Panova Evgenia Ilyinichna

panovaei@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This paper discusses the methods of cleaning wastewater generated after washing sand contaminated with fuel oil. The technologies for removing oil products and suspended solids are analyzed in accordance with the recommendations of the information and technical reference book on the best available technologies (ITS BAT). Experimental studies were conducted, including reagent treatment with the selection of the optimal dose of coagulant and electrocoagulation. It was found that single-stage reagent treatment is insufficient to prepare water for filtration. The best results were obtained using electrocoagulation, which allows the use of a two-stage cleaning scheme, ensuring the efficiency of contaminant removal of 87.2–90.7 %.

Keywords: water purification from oil products, fuel oil pollution, electrocoagulation, reagent treatment, flotation, filtration

Введение. Экологическая катастрофа 2024 года, случившаяся в Керченском проливе из-за затопления танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» с последующим разливом мазута в воде, привела не только к сокращению численности живых организмов, нарушению пищевых цепей, деградации водной экосистемы, но и загрязнению прибрежной песчаной территории [1, 2]. Очистка песка от нефтепродуктов стала крайне актуальной и сложной задачей многих экологов, связанной с особой спецификой загрязнений. Отмывка его водой с добавлением водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) для эмульгирования и удаления нефтепродуктов хоть и дает не плохой результат, но при этом образует побочный продукт — высококонцентрированные сточные воды, содержащие нефтепродукты и взвешенные вещества. В информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ) [3] приведены наиболее эффективные и менее затратные технологии по очистке воды, зависящие от состава загрязнений и их концентраций. Поиск оптимального способа, позволяющего достигать нормативных показателей, является актуальной задачей. Одним из таких высокоэффективных методов при удалении нефтепродуктов, является флотация, которая не только занимает малые площади для размещения [4–6], но и может комбинироваться с флокуляцией, коагуляцией, фильтрованием [7].

Материалы и методы. С целью исследования эффективности различных методов очистки сточной воды, загрязненной нефтепродуктами и взвешенными веществами, а также подбора оптимальных параметров процесса, был проведен ряд экспериментов. Первая часть исследований основывалась на реагентной обработке с подбором реагента и его необходимой дозы для эффективного осветления стоков с исходным значением 30,9 NTU. Приготовление растворов: 5 % коагулянта «Аква-Аурат 30» (массовая доля активного вещества Al_2O_3 — 30 %) и 7,5 % коагулянта сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) осуществлялось путем добавления 5/7,5 г реагента соответственно в 100 мл чистой воды. Полученные готовые коагулянты дозировали в количестве 1–6, 10, 15, 20 и 25 мл на 250 мл загрязненной воды, при этом время проведения эксперимента составило от 5 до 60 минут.

Вторая часть исследований проводилась с использованием камеры электрокоагуляции объемом 4 литра на лабораторной установке (рис. 1). Эксперимент проводился в периодическом режиме в течение 5–15 минут при изменении pH в диапазоне 2–10, плотности тока 10 и 20 мА/см². При подаче напряжения от источника 4 на электроды 2, 3, на них начиналось выделение пузырьков и электрохимического коагулянта, гидроокиси алюминия $Al(OH)_3$, образующейся в результате растворения дюралюминиевых электродов. Пробы отбирались через каждые 5 минут, с измерением мутности воды. Определение мутности проводилось на турбидиметре НАСН 2100 АН, а полученные результаты в единицах NTU преобразованы с помощью выражения $1 \text{ NTU} = 0,58 \text{ мг/л}$ (для разбавленных растворов).

Результаты. Визуально наблюдаемые изменения осветления очищаемой воды при использовании сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) были незначитель-

ными, по сравнению с 5 %-ным раствором коагулянта «Аква–Аурат 30», что свидетельствует о его низкой коагулирующей способности для данного стока при разном времени воздействия. Были построены графики, демонстрирующие зависимость показателей мутности осветляемой воды от дозы коагулянта «Аква–Аурат 30» и времени отстаивания (рис. 2). Наибольшая эффективность осветления воды наблюдается при добавлении коагулянта «Аква–Аурат 30» в дозе 4, 5 и 6 мл (рис. 3).

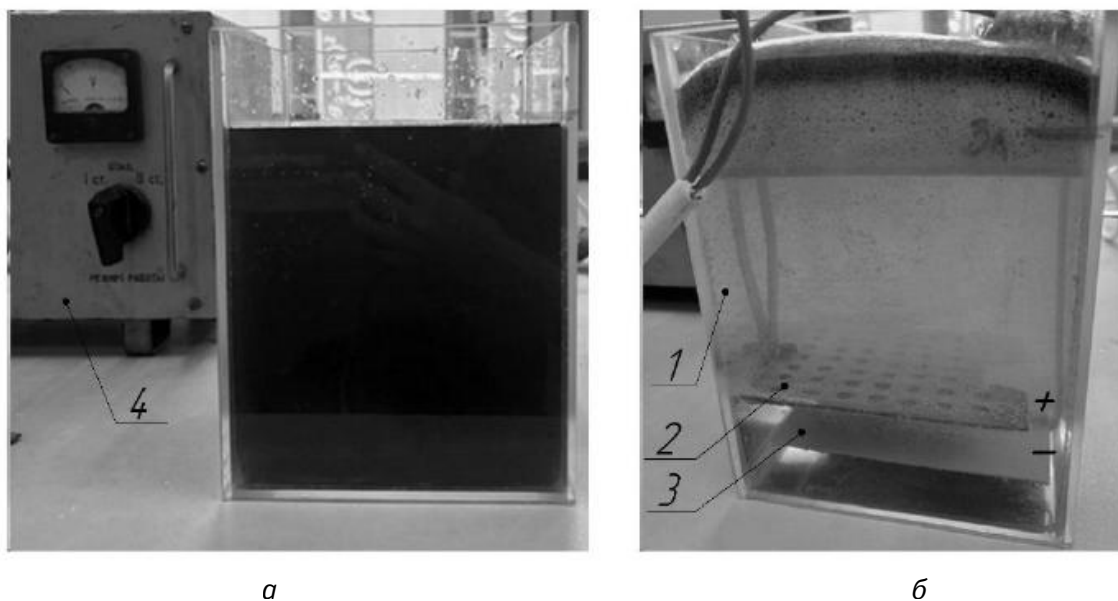


Рис. 1. Электрокоагуляционная установка:

а — общий вид установки; б — электрокоагуляционная ячейка; 1 — камера аэрации; 2 — перфорированный электрод; 3 — пластинчатый электрод; 4 — источник постоянного тока, «+» — анод; «-» — катод

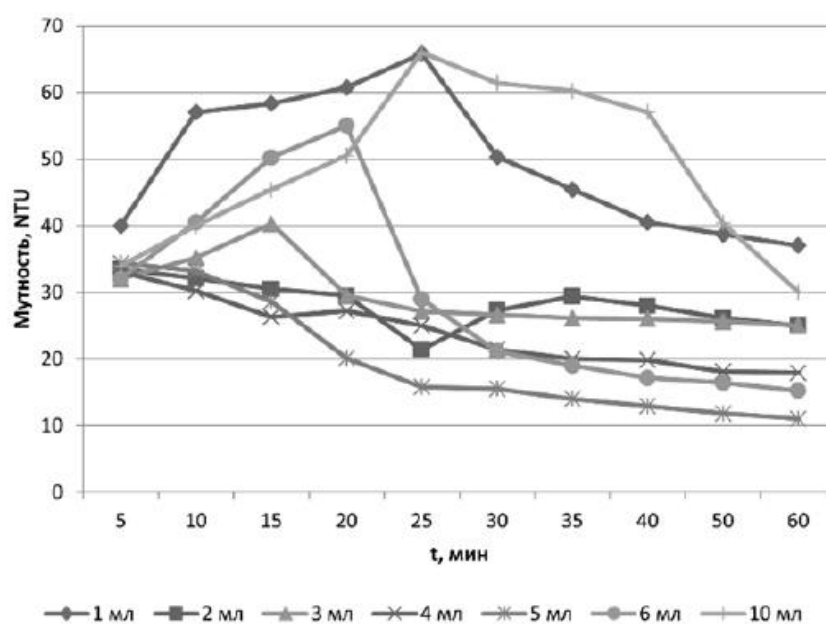


Рис. 2. Влияние количества коагулянта «Аква–Аурат 30» на показатель мутности при разном времени отстаивания

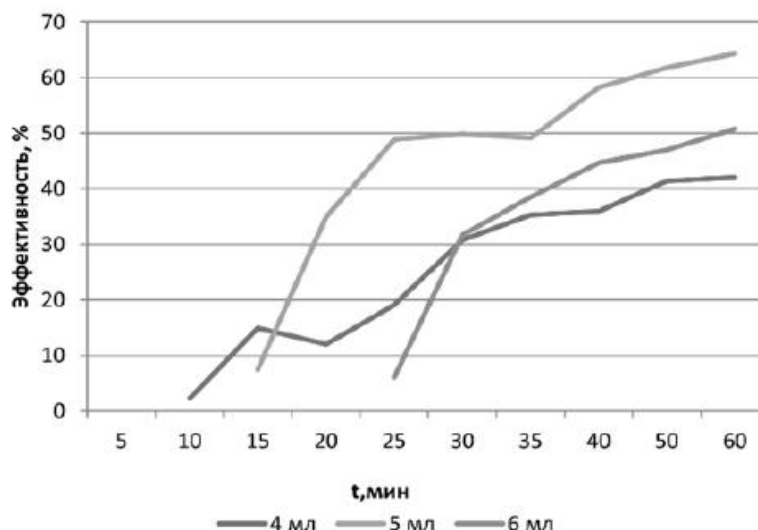


Рис. 3. Зависимость эффективности протекания процесса от дозы коагулянта «Аква-Аурат 30»

По итогам проведения исследований с помощью электрокоагуляции, установлено, что важнейшим параметром процесса является время очистки, т. к. оно наибольшим образом влияет на экономическую составляющую. В целях снижения энергозатрат и обеспечения наивысшей эффективности электрокоагуляции в данных условиях установлены оптимальные параметры процесса: напряжение $U = 21$ В, сила тока $I = 11$ А и время электрокоагуляции 5 мин. Многократная повторяемость экспериментов (более 5 раз) при 5 минутной электрофлотации показала, что значения NTU на выходе из камеры лежат в диапазоне 6,30–7,25, при эффективности очистки 77,02–79,61 %.

Обсуждение полученных результатов. По итогам анализа результатов первой части исследований, оптимальная дозировка коагулянта «Аква-Аурат 30» составила 5 мл, при максимальной эффективности очистки 64 % и времени обработки 60 минут (рис. 4). Высокое содержание взвешенных веществ в осветленной воде после одностадийной реагентной обработки делает невозможной ее эффективную доочистку на фильтрах из-за риска их быстрого засорения и поломки, поэтому требуется дополнительная стадия, которая обуславливает применение многоступенчатой схемы очистки.

По итогам анализа результатов второй части исследований, пятиминутная обработка осветляемой воды в камере электрокоагуляции позволила достигнуть эффективности очистки 79,61 % и применения двухстадийной очистки (с последующим фильтрованием).

Для фильтрования используется модуль, включающий два фильтра доочистки: сорбционный с загрузкой Сорбент АС (рис. 4, а) и угольный с активированным углем (рис. 4, б).

В результате доочистки воды второй ступени концентрация нефтепродуктов составила 0,03 мг/л (эффективность очистки 97 %). Также были получены значения мутности на выходе из фильтров 2,85–3,94 NTU, что говорит о высокой эффективности очистки 90,7–87,2 %.

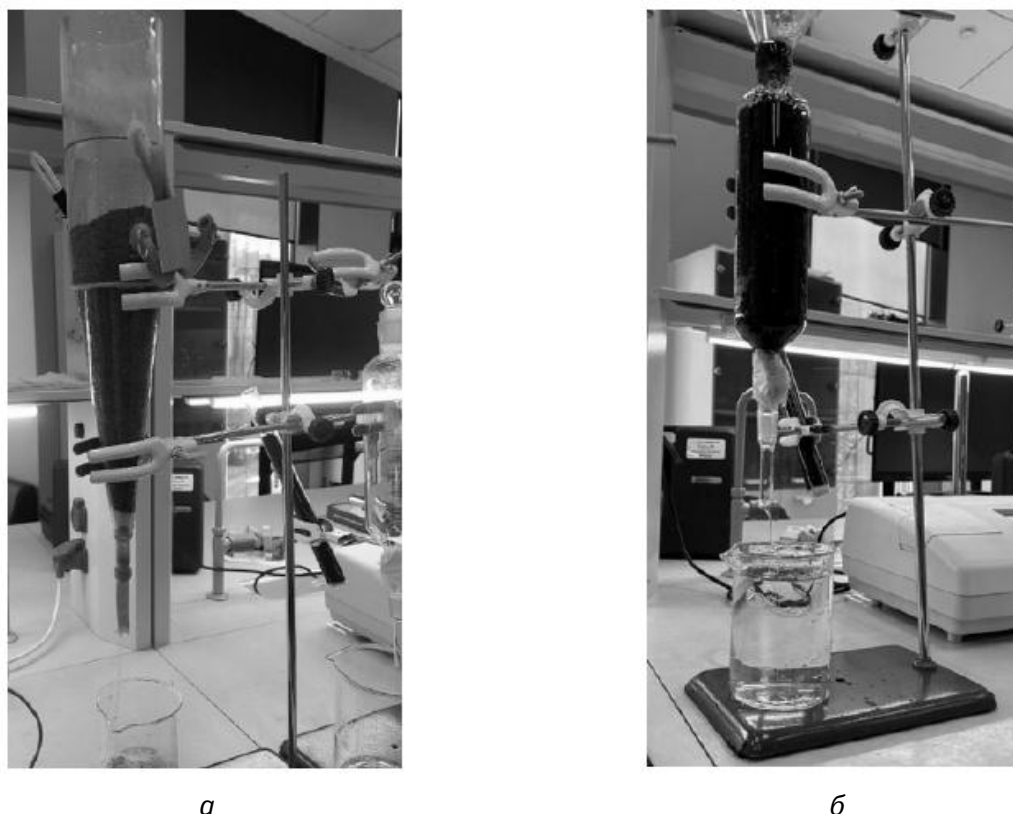


Рис. 4. Лабораторная установка фильтрации:
а — сорбционный фильтр; б — угольный фильтр

Заключение. Результаты проведенных исследований указали на низкую эффективность одностадийной обработки воды с коагулянтом «Аква–Аурат 30» и необходимость применения двухступенчатой с электрокоагуляцией и фильтрованием, позволяющей снизить остаточную концентрацию нефтепродуктов до уровня, не превышающего 5 мг/л. Выбранный подход позволяет достичь снижения мутности до 2,85 NTU и обеспечить высокую эффективность (90,7 %) удаления загрязнений. Рекомендовано внедрение представленной двухступенчатой схемы очистки на предприятиях, занимающихся промывкой загрязненного песка и очисткой образующихся сточных вод от нефтепродуктов.

Список источников

- [1] Ксенофонтов Б.С., Антонова Е.С., Бондаренко А.В. Моделирование очистки сточных вод электрофлотацией. *Экология промышленного производства*, 2015, № 1 (89), с. 36–40.
- [2] Ксенофонтов Б.С. *Флотационная обработка воды, отходов и почвы*. Москва, Новые технологии, 2010, 272 с.
- [3] ИТС 8–2015. *Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям*. Москва, Бюро НДТ, 2015, 116 с.
- [4] Mohtashami R., Shang J.Q. Electroflotation for treatment of industrial wastewaters: a focused review. *Environmental Processes*, 2019, vol. 6, pp. 325–353.
<https://doi.org/10.1007/s40710-019-00348-z>

- [5] Chen G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 2004, vol. 38, pp. 11–41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- [6] Bondarenko A.V., Antonova E.S. Development of an Electroflotation Device for the Purification of Oily Waste from Power Generating Enterprise. *Proceedings of the 2024 6th international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1109/reepe60449.2024.10479732>
- [7] Ksenofontov B.S., Bondarenko A.V. Wastewater Treatment of Space Machine-Building Enterprises Using Immobilized Microorganisms. *AIP Conference Proceedings*, 2023, vol. 2549, no. 1. <https://doi.org/10.1063/5.0107989>