

Е. И. ВЯЛКОВА

ИЗВЛЕЧЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ПРИРОДНЫМИ СОРБЕНТАМИ АРКТИКИ

EXTRACTION OF PETROLEUM PRODUCTS FROM WASTEWATER BY NATURAL SORBENTS OF THE ARCTIC

Нефтегазодобыча в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах оказывает неблагоприятное влияние на экологическое состояние Арктики. С целью предупреждения загрязнения северных водных объектов нефтепродуктами рассматриваются местные природные материалы (торф, мох и ягель) в качестве сорбентов. Построены изотермы сорбции при разной исходной концентрации загрязняющего вещества (250,50 и 0,5 мг/дм³); определены закономерности изменения интенсивности сорбции нефтепродуктов. Проводилась модификация сорбентов микроволновым излучением, которая оказала заметный положительный эффект на образцы ягеля. На основании данных лабораторного эксперимента были рассчитаны конструктивные параметры фильтрующих кассет. Эффективность и дешевизна позволяют предположить экономическую целесообразность использования данных материалов в технологиях очистки сточных вод.

Ключевые слова: нефтепродукты, очистка сточных вод, сорбция, природные сорбенты

Oil and gas production in the Yamal-Nenets and Khanty-Mansi Autonomous Okrugs has an adverse impact on the ecological state of the Arctic. In order to prevent pollution of northern water bodies with oil products, local natural materials (peat, moss and reindeer moss) are considered as sorbents. Sorption isotherms were constructed for different initial concentrations of the pollutant (250.50 and 0.5 mg/dm³); regularities of changes in the intensity of sorption of oil products are determined. The sorbents were modified by microwave radiation, which had a noticeable positive effect on reindeer moss samples. Based on the data of a laboratory experiment, the design parameters of filter cassettes were calculated. Efficiency and low cost suggest the economic feasibility of using these materials in wastewater treatment technologies.

Keywords: oil products, wastewater treatment, sorption, natural sorbents

Согласно Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года [1], территория Арктики обеспечивает добычу более 80 % природного газа и 17 % российской нефти. Например, только на Арктическом шельфе открыто 26 месторождений нефти и газа, из которых 7 подготовлены к разработке [2]. Наибольший вклад в производство жидких углеводородов вносят нефтегазодобывающие предприятия, большинство из которых сосредоточены на севере региона в Ханты-Мансийском автономном округе –

Югре (ХМАО) и Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) [3].

В процессе антропогенного воздействия и изменения климатических условий возникают неблагоприятные экологические последствия. Отмечается, что в районах добычи нефти, природного газа и других полезных ископаемых источники водоснабжения более загрязнены в результате активного промышленного использования территории и, как следствие, техногенного поступления нефти и нефтепродуктов в окружающую среду [4–9]. В табл. 1 приведены примеры содержания нефтепродуктов в сточных

водах некоторых нефтепромысловых предприятий и объектов инфраструктуры [6–8]. В табл. 2 сведены данные по состоянию поверхностных источников воды на территориях нефтедобычи Тюменского севера [9]. Пространственный анализ загрязнений показал, что наибольшая площадь ареалов, где водные объекты содержат нефтепродукты, сосредоточена на территориях ХМАО и ЯНАО. Превышение ПДК тесно связано с размещением основных месторождений и трубопроводов углеводородного сырья. Это происходит по нескольким причинам, одна из которых – поступление в реки загрязнений в составе неочищенных или плохо очищенных сточных вод. В связи с этим в числе основных решаемых задач стоит минимизация сбросов в водные объекты загрязняющих веществ при осуществлении хозяйственной и иной деятельности [1].

Современные технологические схемы обработки сточных вод предусматривают в своем составе сооружения, в которых собираются и удаляются всплывающие загрязнения, например песколовки-нефтеловушки, отстойники, флотаторы, гидроциклоны и др. [6, 7]. Одним из самых распространенных способов доочистки воды от остаточных нефтепродуктов является сорбция, которая применяется в сооружениях, таких как сорбционные фильтры и сорбционные колонны. Основными технологическими параметрами фильтров с зернистыми загрузкими являются скорость фильтрования, высота слоя фильтрующего материала, крупность фракций материала, а также форма зерна материала, его пористость и неоднородность [10]. Самым распространенным и наиболее эффективным

загрузочным материалом таких сооружений считаются активированные угли, которые для Тюменского региона весьма дороги из-за отсутствия рядом месторождений. Перспективные сорбционные материалы для очистки сточных вод должны обладать не только высокими сорбционными свойствами, но и быть нетоксичными, способными к регенерации и легко утилизироваться, а также иметь низкую стоимость и доступную сырьевую базу. Эти требования заставляют исследователей обращаться и к другим сорбентам природного происхождения [11].

Основным недостатком природных материалов как сорбентов является их слабо выраженная сорбционная способность, на которую также негативно влияет их повышенная гидрофильность. Снижения водопоглощения и повышения сорбционной активности возможно добиться путем различных модификаций [12–14]. Наиболее популярные способы модификации и активации сорбентов следующие: термообработка (разные способы нагрева или сжигания) или обработка горячим паром [15, 16]; обработка растворами солей, щелочей или кислот, может быть в сочетании с термообработкой [14]; методы физико-химического воздействия на сорбент или смесь сорбента и сорбата [13]. В последнее время все чаще обращаются к методам физического воздействия, таким как микроволны, ультразвук и др. [17–20]. Главные критерии при выборе способов модификации – эффективность, экономичность, безопасность и технологичность. В табл. 3 представлены наилучшие результаты по исследованию некоторых сорбентов природного происхождения на извлечение из воды нефтепродуктов [13–16, 21, 22, 24].

Таблица 1

Концентрация нефтепродуктов в сточных водах

Концентрация нефтепродуктов в исходной воде, мг/дм ³	Виды сточных вод и их источники			
	Нефтепро-мысловые сточные воды	Дождевые сточные воды нефтебаз	Производственные сточные воды нефтебаз	Хозяйственно-бытовые сточные воды вахтовых поселков
Общие, в т.ч.:	-	20-1000	400-15000	до 10
плавающие	До 10000	-	350 -14700	-
эмульгированные	500-600	-	50-300	-
растворенные	До 10	-	5-20	-

Таблица 2

Среднегодовые концентрации нефтепродуктов в воде западносибирских рек на гидрохимических постах наблюдений в 2016–2017 гг.

Наименование водного объекта	Р. Обь	Р. Иртыш	Р. Пур	Р. Таз	Р. Сось
Концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³	0,005-0,079	0,01-0,692	0,039-0,133	0,039-0,093	0,136-0,161
Превышение ПДК = 0,05 мг/дм ³	1,58	13,84	2,66	1,86	3,22

Природные сорбенты могут использоваться для удаления из сточных вод и других видов загрязнений. Например, измельченные ветки городских деревьев, сосновые опилки, а также модифицированная кора неплохо сорбируют ионы меди [24, 25]. Отмечается способность мхов аккумулировать различные металлы, и это свойство может быть использовано в очистных сооружениях промышленного поверхностного стока [26]. Предварительно модифицированный торф способен удалять

из воды ионы марганца, свинца, хрома и меди [14]. Аналитические описания сорбционных свойств природных сорбентов были приведены в ранее опубликованных работах [13, 14, 24, 27], которые использовались за основу в данной исследовательской работе.

В качестве природных сорбентов были рассмотрены торф, мох и ягель, взятые на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в Приуральском районе Арктической зоны России. Основные данные приведены в табл. 4.

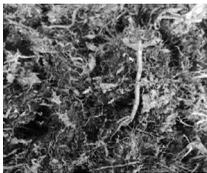
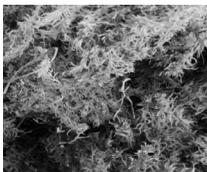
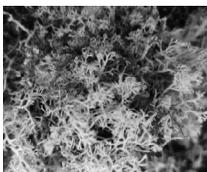
Таблица 3

Извлечение природными сорбентами нефтепродуктов

Сорбент	Модификация	Условия обработки	Результаты и эффекты
Торф	Промывка, сушка	T = 20 °C	Извлечение растворенных нефтепродуктов из воды 0,36 г/г при исходной концентрации 250 мг/дм ³
Торф	Нагрев микроволнами	W60-900 Вт, 12–60 мин	Нефтеемкость увеличивается и составляет 2,5–2,73 г/г.
Сосновые опилки	Нагрев микроволнами	W600 Вт, 2 мин	Увеличение сорбционной емкости по растворенным нефтепродуктам в 3,7–4 раза
Опилки ясеня	Обработка кислотой	30 мин в 3 % HNO	Увеличение нефтеемкости на 43 % до 5,93 г/г
Ветки тополя	Измельчение	Крупность не более 2 мм	Сорбция растворенных нефтепродуктов 0,17 мг/г при исходной концентрации 10 мг/дм ³
Рисовая шелуха	Сжигание	T = 500–800 °C	Удаление нефтепродуктов из воды на 78–98 %
Рисовая солома	Нагрев	T = 140 °C, 10 мин	Извлечение дизельного топлива из морской воды возрастает в 1,32 раза

Таблица 4

Данные по образцам Арктических природных материалов

Внешний вид образца	Название	Место взятия	Описание материала
	Торф	Месторождение вдоль берега реки Щучье, в 15 км от села Белоярск. Координаты GPS: 66.824494, 68.296897	Торф имеет особую рыхлую волокнистую структуру, состоящую из растительного слоя. Влажный, серовато-бурого цвета. Обладает природным земельным запахом, без техногенных примесей
	Мох	В районе села Аксарка, по дороге Аксарка-Салехард на 21 км, в тундре. Координаты GPS: 66.462440, 67.521224	Листья арктического мха имеют нитевидную структуру и растут по спирали вокруг стебля. Цвет растения изменяется от болотного до светло-зеленого; мох насыщен влагой и обладает растительным запахом
	Ягель		Лишайник из рода <i>кладония</i> , или «олений мох»; его небольшие ветвистые кустики напоминают кораллы. Цвет ягеля изменяется от бурого до светло-серого, сухое растение обладает слабым растительным запахом

Образцы природных сорбентов тщательно промывались и высушивались до постоянного веса при температуре 20 °С. Исследование процессов сорбции проводилось для трех значений начальной концентрации нефтепродуктов (0,5, 50 и 250 мг/дм³) в модельном растворе. В динамических условиях при заданной скорости фильтрования (от 0,2 до 0,5 см/с) определялась остаточная концентрация вещества (мг/дм³) и рассчитывалась сорбционная емкость (мг/г). Далее анализировалась интенсивность процесса извлечения нефтепродуктов, характеризуемая коэффициентом Генри (Г) в зависимости $C_p = Г \cdot C_s$ (C_p – сорбционная емкость, мг/г, C_s – остаточная концентрация загрязнения, мг/дм³) для прямолинейного интервала изотермы сорбции.

Измерение массовой концентрации нефтепродуктов в пробах воды осуществлялось флуориметрическим методом с использованием прибора «Флюорат-02-3М» согласно методике ПНД Ф 14.1:2.4.128-98. Модификация сорбентов осуществлялась методом физического воздействия: микроволновое облучение в бытовой СВЧ-печи при мощности $W = 600$ Вт и частоте 2,45 Гц в течение 1 мин.

Построенные по результатам эксперимента изотермы сорбции нефтепродуктов торфом (рис.1) имеют прямолинейный характер. Отмечено пропорциональное изменение коэффициента Генри в уравнениях: чем выше исходное содержание загрязнения в воде, тем интенсивнее протекает процесс сорбции.

В результате подтвердилась способность исследуемого торфа извлекать из воды нефтепродукты [14,27], при этом чем выше исходная концентрация загрязнения в воде, тем выше эффективность очистки. Предварительная обработка образцов торфа микроволновым облучением повышает сорбционную емкость всего на 3–5 %.

Изотермы сорбции нефтепродуктов мхом и ягелем для различной начальной концентрации загрязняющего вещества представлены на рис. 2 и 3.

Все виды растительных сорбентов отлично сорбируют нефтепродукты в условиях высокой исходной концентрации (250 мг/дм³), и гораздо хуже в случае средних (50 мг/дм³) и особенно низких значений (0,5 мг/дм³). На рис. 4 показано изменение интенсивности процесса сорбции торфом, мхом и ягелем в зависимости от начальной концентрации вещества.

Микроволновая обработка дает положительный эффект для образцов ягеля: сорбционная емкость может быть увеличена на 11–15 %. Для образцов мха модификация микроволнами не существенна – сорбционная емкость возрастает всего на 1–3 %.

С целью практического применения результатов исследований расчетным методом определялись конструктивные размеры съемных фильтрующих кассет с загрузкой из изучаемых сорбентов. Кассета представляет собой квадратное в плане устройство на деревянном каркасе с обшивкой из фильтрующей ткани (например холщевой), и внутри заполненное торфом или другим материалом. Кассета может вставляться в специальный железобетонный колодец как съемный фильтрующий элемент.

Ранее была получена эмпирическая зависимость для определения высоты фильтрующего слоя (Hk) в реальной установке для очистки нефтесодержащих сточных вод при использовании сорбентов растительного происхождения [14]:

$$Hk = \frac{1}{\beta} \vartheta_{\phi} \ln \left(1,5 \frac{c_0}{c} \right) K_{\text{зап}}, \quad (1)$$

где ϑ_{ϕ} – скорость фильтрования, находится в пределах от 0,2 до 0,5 см/с; $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, равный 1,5–2,0; β – коэффициент массопереноса, определяется по формуле

$$\beta = -\frac{1}{\tau_{\text{пр}}} \ln \frac{C_{\text{мгн}}}{C_0}. \quad (2)$$

Коэффициент массопереноса β (с⁻¹) определяется в каждом отдельном случае по величине «мгновенного проскока» $C_{\text{мгн}}$ (мг/дм³) и времени $\tau_{\text{пр}}$ (с) при прочих равных условиях.

Технологические параметры исследуемых образцов, необходимые для определения конструктивных параметров фильтрующих кассет, представлены в табл. 5.

Полезная площадь фильтрующей кассеты F (м²) определяется по формуле

$$F = \frac{Q}{24 \cdot \vartheta_h \cdot N} K_3, \quad (3)$$

где Q – суточный расход сточных вод, м³/сут; ϑ_h – скорость фильтрации, принимается от 10 до 20 м/ч; N – количество рабочих установок; коэффициент запаса $K_3 = 1,4$.

Например, при расчетной скорости фильтрования 18 м/ч и расходе 200 м³/сут необходимая площадь одной фильтрующей кассеты с загрузкой из природного сорбента (при общем количестве рабочих установок –2) составит 0,324 м² с размерами в плане 0,6×0,6 м. Высота кассеты принимается в зависимости от вида загрузки (табл.5). В среднем, при неизменной входной концентрации такая кассета сможет прослужить от 3 до 7 сут, далее ее необходимо заменить на новую. Отработанную кассету, насыщенную нефтепродуктами, высушивают и используют как топливный брикет.

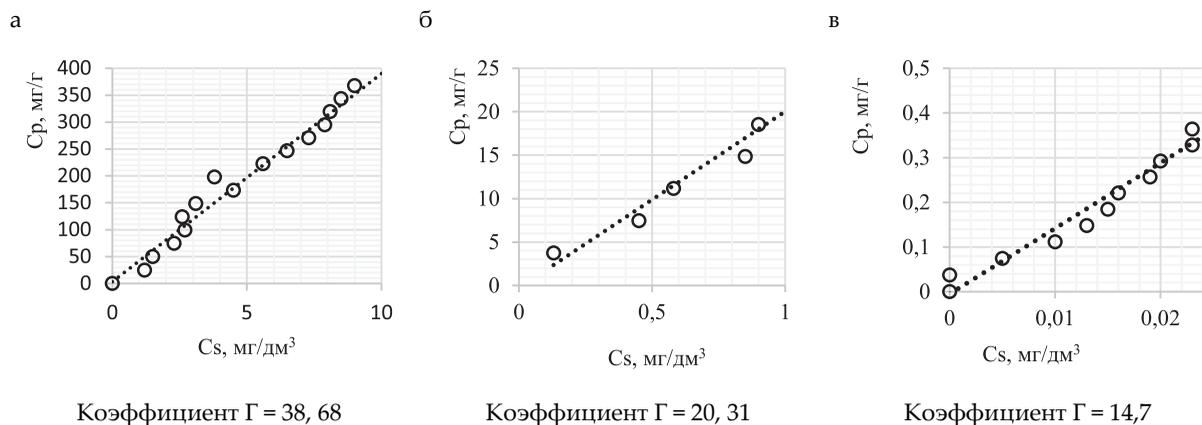


Рис. 1. Изотермы сорбции нефтепродуктов торфом из водных растворов при исходной концентрации, мг/дм³: а – $C_0 = 250$; б – $C_0 = 50$; в – $C_0 = 0,5$

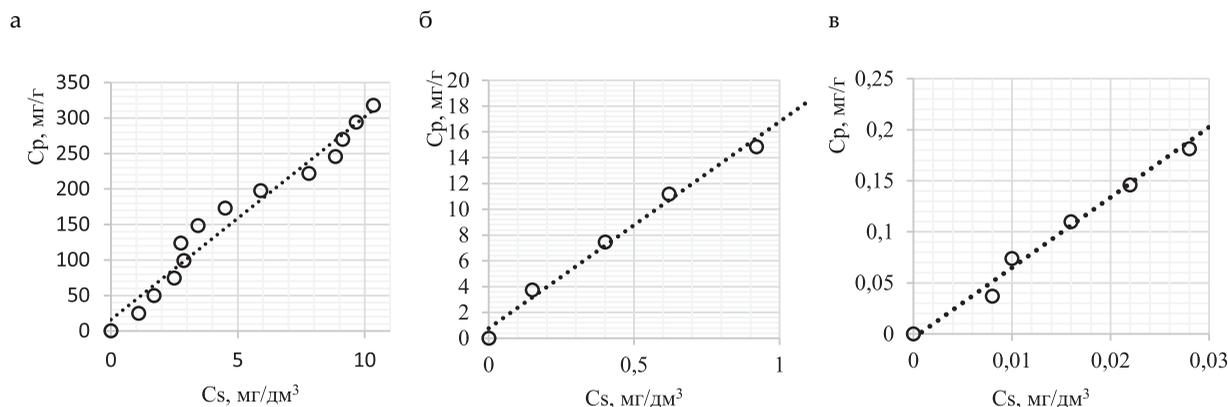


Рис. 2. Изотермы сорбции нефтепродуктов мхом из водных растворов при исходной концентрации, мг/дм³: а – $C_0 = 250$; б – $C_0 = 50$; в – $C_0 = 0,5$

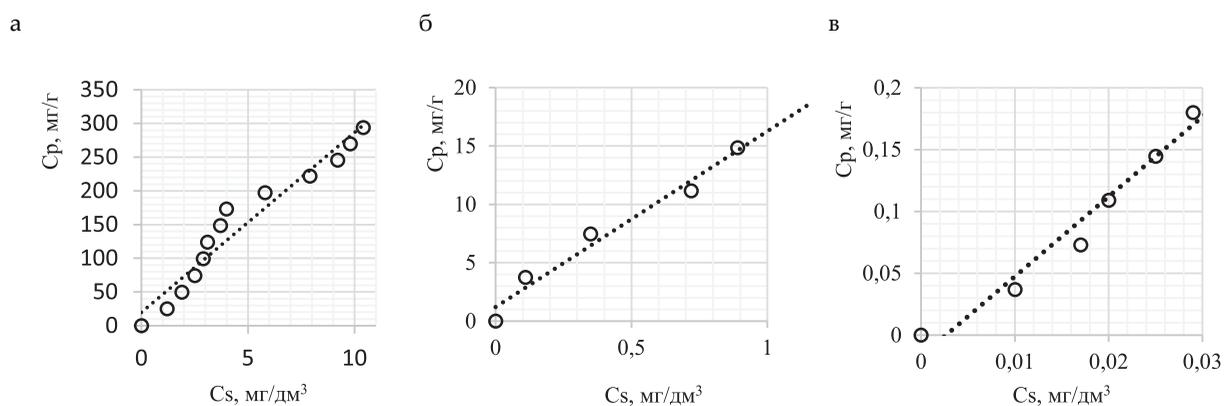


Рис. 3. Изотермы сорбции нефтепродуктов ягелем из водных растворов при исходной концентрации, мг/дм³: а – $C_0 = 250$; б – $C_0 = 50$; в – $C_0 = 0,5$

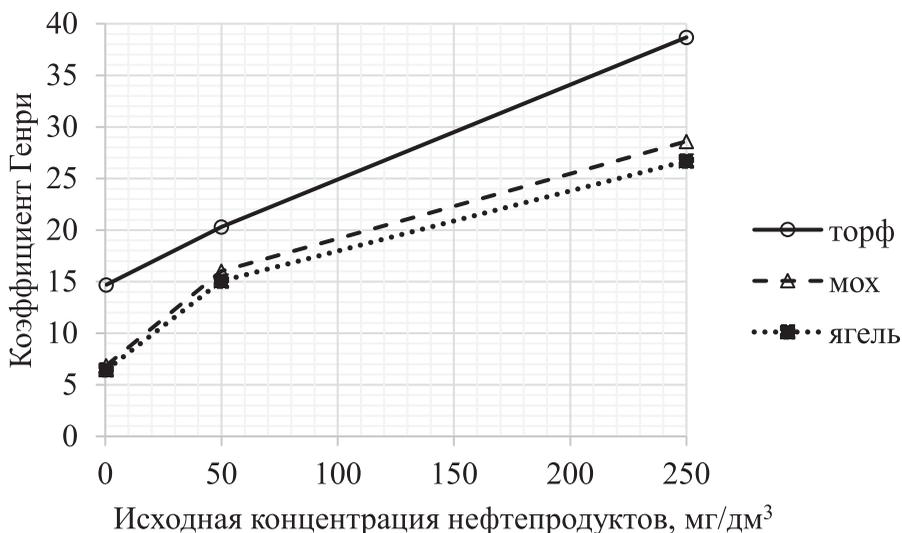


Рис. 4. Изменение интенсивности процесса сорбции нефтепродуктов из модельно водного раствора в зависимости от исходной концентрации

Таблица 5

Технологические параметры природных сорбентов

Вид сорбента	$C_0/C_{\text{вых}}$ мг/дм³	$C_{\text{мг}}$ мг/дм³	$\tau_{\text{пр}}$, с	β , с ⁻¹	$\vartheta_{\text{ф}}$, см/с	H_k , см
Образцы сорбентов без обработки						
Торф	10/0,05	3,51	10	0,1047	0,5	54,5
Мох	10/0,05	3,68	11	0,0909	0,5	62,8
Ягель	10/0,05	4,01	13	0,0703	0,5	81,1
Образцы сорбентов с обработкой в микроволновой печи						
Торф	10/0,05	3,22	9	0,1259	0,5	45,3
Мох	10/0,05	3,46	10	0,1061	0,5	53,7
Ягель	10/0,05	3,31	11	0,1005	0,5	56,7

Выводы

Природные материалы Арктической зоны Ямало-Ненецкого автономного округа (торф, мох и ягель) являются потенциальными сорбентами для очистки сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты. Проведенный эксперимент на модельных растворах позволил получить изотермы сорбции и их характеристики для нескольких значений начальной концентрации нефтепродуктов. Исследования показали, что при максимальной концентрации загрязнения (250 мг/л) достигаются наилучшие результаты для всех образцов: скорость сорбции в 1,9–3 раза выше, чем при исходной средней и низкой концентрации (50 и 0,5 мг/дм³). Это подтверждает известный факт – чем выше концентрация загрязнения в воде, тем легче ее можно снизить сорбцией, в том числе и с использованием торфа, мха или ягеля.

Модификация исследуемых материалов микроволновым облучением незначительно улучшает сорбционные свойства торфа (на 3–5 %) и мха (на 1–3 %). Микроволновая обработка ягеля повышает сорбционную емкость на 11–15 %. Этот способ дополнительной обработки ягеля позволит сократить высоту слоя загрузки фильтрующих сооружений или увеличить срок их службы.

В результате эксперимента получены параметры, необходимые для моделирования фильтрующих касет с загрузкой из торфа, мха или ягеля. Расчётным способом определены конструктивные размеры сооружений очистки сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты в концентрации не более 10 мг/л. Данные фильтры можно применять на стадии доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод вахтовых поселков или на стадии основной очистки

поверхностного стока с площадок нефтяных месторождений, нефтебаз и других профильных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указ Президента Российской Федерации №645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года» [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 06.02.2022).
2. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Шабалин Н.А., Кондратьев А.Т., Еремин А.Н. Состояние и перспектива традиционного и интеллектуального освоения углеводородных ресурсов Арктического шельфа России. [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/538351-sostoyaniye-i-perspektivy-osvoeniya-uglevodorodnykh-resursov-arkticheskogo-shelfa-rossii/> (дата обращения: 06.02.2022).
3. Тюменская область – Википедия [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тюменская_область (дата обращения: 06.02.2022).
4. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Немецком автономном округе в 2020 году [Электронный ресурс]. 2021. Режим доступа: <https://dprg.yanao.ru/documents/active/115140/> (дата обращения: 06.02.2022).
5. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2020 год [Электронный ресурс]. 2021. Режим доступа: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-autonomnom-okruge-yugre/5856244/2020-god/> (дата обращения: 06.02.2022).
6. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Гришин Б.М., Бикунцова М.В., Сафронов М.А. Очистка сточных вод нефтепромыслов с применением высокопроизводительных блочно-модульных установок: монография. Пенза: ПГУАС, 2015. 136 с.
7. Стахов Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. Л.: Недра, 1983. 263 с.
8. Вялкова Е.И., Максимова С.В., Землянова М.В., Воронцова А.В. Проектирование систем водоотведения вахтовых поселков при нефтегазовых месторождениях Западной Сибири. Тюмень: ТИУ, 2020. 187 с.
9. Мезенцева О.В., Волковская Н.П., Захарова В.П., Гурьянова В.В. Загрязнение западносибирских рек нефтепродуктами за период 2000–2017 гг. // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–1. С. 175–181.
10. Дзюбо В.В. О фильтрующих материалах и параметрах работы водоочистных фильтров // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 177–187.
11. Привалова Н.М., Двядненко М.В., Некрасова А.А., Попова О.С., Привалов Д.М. Очистка нефтесодержащих сточных вод с помощью природных и искусственных сорбентов // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 113 (09). С. 10.
12. Rafeah W., Luqman A. Ch., Thomas Sh. Y. Ch., Zainab N., Mohsen M.N. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview // Separation and Purification Technology. 2013. n 113. pp. 51–63.
13. Малышкина Е.С., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю. Использование природных сорбентов в процессе очистки воды от нефтепродуктов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 188–200.
14. Большаков А.А., Вялкова Е.И. Природные минералы Тюменской области: свойства и перспективы использования в процессах очистки воды: монография. С.-Петербург: ООО «Недра», 2005. 128 с.
15. Faizal A.M., Kuttly S.R.M., Ezechi E.H. Removal of Oil from Water by Column Adsorption Method Using Microwave Incinerated Rice Husk Ash (MIRHA) // InCIEC 2014. 2015, Pp. 963–971.
16. Taufik S.H., Ahmad S.A., Zakaria N.N., Shaharuddin N.A., Azmi A.A., Khalid F.E., Merican F., Convey P., Zulkharnain A., Abdul Khalil K. Rice Straw as a Natural Sorbent in a Filter System as an Approach to Bioremediate Diesel Pollution// Water. 2021.V.13(23). DOI:10.3390/w13233317.
17. Bakhia T., Khamizov R.K., Bavizhev M.D., Konov M.A. The effect of microwave treatment of clinoptilolite on its ion-exchange kinetic properties// Sorpt. Chromatogr. Process. 2016.V.16.Pp.803–812.
18. Бердоносос С.С. Микроволновая химия // Соросовский образовательный журнал. 2001.Т.7. №1. С.32–38.
19. Vialkova E., Obukhova V., Belova L. Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewater sludge treatment: a review // Water. 2021.V.13(13). DOI:10.3390/w13131784.
20. Staicu V., Luntraru C., Calinescu I., Chisega-Negrila C.G., Vinatoru M., Neagu M., Gavrilă A.I., Popa I. Ultrasonic or Microwave Cascade Treatment of Medicinal Plant Waste // Sustainability. 2021.V.13.Doi:10.3390/su132212849.
21. Bannova E.A., Kitaeva N.K., Merkov S.M., Muchkina M.V., Zaloznaya E.P., Martynov P.N. Study of a method for obtaining a hydrophobic sorbent based on modified peat//Sorpt. Chromatogr. Process. 2013. 13. Pp. 60-68.
22. Данилов О.С., Михеев В.А., Москаленко В.А. Исследование влияния электромагнитного микроволнового излучения на твердые горючие ископаемые. 2011.Т.13. №1 (5). С.1264–1267.
23. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я. Увеличение нефтемкости опилок ясеня обработкой растворами кислот // Вестник технологического университета. 2017. Т. 18. № 17. С. 233–235.
24. Воронов А.А., Максимова С.В., Осипова Е.Ю. Очистка талых вод урбанизированных территорий с использованием фитосорбентов//Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т.23(2). С.105–117. DOI:10.31675/1607-1859-2021-23-2-105-117
25. Микова Н.М., Скворцова Г.П., Мазурова Е.В., Чесноков Н.В. Влияние сшивающего эффекта на свой-

ства сорбентов, получаемых из коры осины и лиственницы // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92. Вып. 10. С. 1333–1343. DOI: 10.1134/S0044461819100128.

26. Урлик Д.В., Тимофеева С.С., Брюхтов М.Н. Возможности использования листостебельных мхов в очистке сточных вод // Вестник ИрГТУ. 2013. №12 (83). С.136–139.

27. Сергеева Е.С., Лантедульче Н.К. Разработка подходов к моделированию процессов очистки нефтесодержащих вод в динамических условиях природными сорбентами // Энергосбережение и энергоотведение. 2009. №4(60). С. 9–11.

REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii №645 «O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti do 2035 goda» [Decree of the President of the Russian Federation No. 645 dated October 26, 2020 «On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security until 2035»]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (accessed 17 July 2022).
2. Dmitrievsky A.N., Eremin N.A., Shabalin N.A., Kondratyuk A.T., Eremin A.I. State and prospects of traditional and intellectual development of hydrocarbon resources of the Arctic shelf. Available at: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/rynok/538351-sostoyanie-i-perspektivy-osvoeniya-uglevodorodnykh-resursov-arkticheskogo-shelfa-rossii/> (accessed 17 July 2022).
3. Tyumen region – Wikipedia (2022). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тюменская_область (accessed 17 July 2022).
4. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge v 2020 godu [Report on the environmental situation in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2020 (2021)]. Available at: <https://dpr.yanao.ru/documents/active/115140> (accessed 17 July 2022).
5. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Hanty-Mansiyskom avtonomnom okruge- YUgre v 2020 godu [Report on the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Ugra in 2020 (2021)]. Available at: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/5856244/2020-god/> (accessed 17 July 2022).
6. Adelshin A.A., Grishin B.M., Bikunova M.V., Safronov M.A. Ochistka stochnykh vod neftepromyslov s primeneniem vysokoproizvoditel'nykh blochno-modul'nykh ustanovok: monografiya [Wastewater treatment of oil fields of high-performance modular units: monograph]. Penza, PGUAS, 2015. 136 p.
7. Stakhov E.A. Ochistka neftesoderzhashchih stochnykh vod predpriyatij hraneniya i transporta nefteproduktov [Purification of oily waste water from storage and transportation of petroleum products organizations]. L., Nedra, 1983. 263 p.
8. Vialkova E.I., Maksimova S.V., Zemlyanova M.V., Vorotnikova A.V. Proektirovanie sistem vodootvedeniya vahtovykh poselkov pri neftegazovykh mestorozhdeniyah Zapadnoj Sibiri [Designing water disposal systems for shift camps at oil and gas fields in Western Siberia: a tutorial]. Tyumen, Industrial University of Tyumen (TUY), 2020. 187 p.
9. Mezentseva O. V., Volkovskaya N. P., Zakharova V. P., Guryanova V.V. Pollution of the west Siberian Rivers by oil products for the period 2000-2017. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya* [Successes of Modern Natural Science], 2018, no.12-1, pp.175-181 (in Russian)
10. Dzyubo V.V. About filtering materials and operation parameters of water treatment filters. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2019, vol. 21, no. 1, pp. 177-187 (in Russian)
11. Privalova N.M., Dvadenko M.V., Nekrasova A.A., Popova O.S., Privalov D.M. Oily wastewater purification with natural and artificial absorbents. *Nauchnyi zhurnal KubGAU* [Scientific journal KubSAU], 2015, no.113 (09), pp. 10. (in Russian).
12. Rafeah W., Luqman A. Ch., Thomas Sh. Y. Ch., Zainab N., Mohsen M.N. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology*, 2013, no. 113, pp. 51-63. DOI:10.1016/j.seppur.2013.04.015
13. Malyshkina E.S., Vyalkova E.I., Osipova E.Y. Water purification with natural sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [JOURNAL of Construction and Architecture], 2019, no.1, pp.188-200 (in Russian) DOI:10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200
14. Bolshakov A.A., Vyalkova E.I. *Prirodnye mineraly Tyumenskoj oblasti: svoystva i perspektivy ispol'zovaniya v processah ochistki vody: monografiya* [Natural minerals of the Tyumen region: properties and prospects of use in water purification processes: monograph]. Saint Petersburg, Nedra, 2005. 128 p.
15. Faizal A.M., Kutty S.R.M., Ezechi E.H. Removal of Oil from Water by Column Adsorption Method Using Microwave Incinerated Rice Husk Ash (MIRHA). *InCIEC 2014*, 2015, pp. 963–971.
16. Taufik S.H., Ahmad S.A., Zakaria N.N., Shahrudin N.A., Azmi A.A., Khalid F.E., Merican F., Convey P., Zulkharnain A., Abdul Khalil K. Rice Straw as a Natural Sorbent in a Filter System as an Approach to Bioremediate Diesel Pollution. *Water*, 2021, v.13(23). DOI:10.3390/w13233317.
17. Bakhia T., Khamizov R.K., Bavizhev M.D., Konov M.A. The effect of microwave treatment of clinoptilolite on its ion-exchange kinetic properties. *Sorpt. Chromatogr. Process*, 2016, vol.16, pp.803-812.
18. Berdonosov S.S. *Microwave Chemistry. Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal* [Soros Educational Journal], 2001, vol. 7, no. 1, pp.32-38. (in Russian)
19. Vialkova E., Obukhova V., Belova L. Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewa-

ter sludge treatment: a review. *Water*, 2021, vol. 13(13). DOI:10.3390/w13131784.

20. Staicu V., Luntraru C., Calinescu I., Chisega-Negrila C.G., Vinatoru M., Neagu M., Gavrilă A.I., Popa I. Ultrasonic or Microwave Cascade Treatment of Medicinal Plant Waste. *Sustainability*, 2021, vol. 13. DOI:10.3390/su132212849.

21. Bannova E.A., Kitaeva N.K., Merkov S.M., Muchkina M.V., Zaloznaya E.P., Martynov P.N. Study of a method for obtaining a hydrophobic sorbent based on modified peat. *Sorpt. Chromatogr. Process*, 2013, vol.13, pp. 60-68.

22. Danilov O.S., Mikheev V.A., T. V. Moskalenko N.V. Influence of electromagnetic microwave radiation on solid combustible fossils, *Izv. Samarsk. Nauch. Tsentra Ross. Akad. Nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, vol. 13, no. 1(5), pp.1264–1267 (in Russian)

23. Denisova T.R., Shaikhiev I.G., Sippel' I.Ya. Ash sawdust oil capacity increased by acid solution treatment. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2017, vol. 18, no. 17, pp. 233–235 (in Russian)

24. Voronov A.A., Maksimova S.V., Osipova E.Y. Purification of urbanized melt water with plant sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [JOURNAL of Construction and Architecture], 2021, vol. 23, no.2, pp.105-117 (in Russian) DOI:10.31675/1607-1859-2021-23-2-105-117

25. Mikova N.M., Skvortsova G.P., Mazurova E.V., Chesnokov N.V. Influence of the cross-linking effect on the properties of sorbents obtained from aspen and larch bark. *ZHurnal prikladnoj himii* [Journal of Applied Chemistry], 2019, vol. 92, no. 10, pp. 1333-1343 (in Russian) DOI:10.1134/S0044461819100128

26. Urlikh D.V., Timofeeva S.S., Bryukhtov M.N. Possibilities to use leafy moss in wastewater treatment. *Vestnik IrGTU* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2013, no. 12 (83), pp.136-139 (in Russian)

27. Sergeeva E.S., Lapedulche N.K. Development of approaches to modeling the processes of purification of oily waters in dynamic conditions with natural sorbents. *Energy saving and energy dissipation*, 2009, no.4 (60), pp.9-11(in Russian)

Об авторе:

ВЯЛКОВА Елена Игоревна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений
Тюменский индустриальный университет
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: vyalkova-e@yandex.ru

VIALKOVA Elena I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Engineering Systems and Structures Chair
Industrial University of Tyumen
625000, Russia, Tyumen, Volodarskogo str., 38,
E-mail: vyalkova-e@yandex.ru

Для цитирования: Вялкова Е.И. Извлечение нефтепродуктов из сточных вод природными сорбентами Арктики // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 4. С. 25–33. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.4.

For citation: Vialkova E.I. Extraction of Petroleum Products from Wastewater by Natural Sorbents of the Arctic. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 25–33. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.4.