

# МОДИФИКАЦИЯ ФИТОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

С. В. Максимова<sup>1</sup>, Е. С. Коршикова<sup>2</sup>, Е. И. Вялкова<sup>1</sup>, А. М. Фугаева<sup>1</sup>, А. А. Воронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> АО «Тюменская домостроительная компания», Тюмень, Россия

## MODIFICATION OF PHYTOSORBENTS TO INTENSIFY THE TREATMENT OF WASTEWATER CONTAINING OIL PRODUCTS

Svetlana V. Maksimova<sup>1</sup>, Elena S. Korshikova<sup>2</sup>, Elena I. Vialkova<sup>1</sup>,

Anastasia M. Fugaeva<sup>1</sup>, Artem A. Voronov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> JSC "Tyumen House-Building Company", Tyumen, Russia

**Аннотация.** Рассмотрены основные проблемы, связанные с очисткой нефтесодержащих сточных вод. Использование растительного сырья для производства нефтесорбентов позволяет получить экономичный материал и решить проблему утилизации отходов производств. Поставлена задача поиска оптимальных методов модификации фитосорбентов с целью улучшения их характеристик. Приведено описание и представлены результаты эксперимента по модификации сорбентов с помощью микроволнового излучения и растворов лимонной и уксусной кислот. Для нативных и модифицированных образцов определены основные параметры сорбции – нефтеемкость, сорбционная емкость в статических и динамических условиях. Сформирован вывод о практическом применении исследуемых фитосорбентов в технологиях очистки сточных вод от растворенных нефтепродуктов.

**Abstract.** The article considers the main problems associated with the oily wastewater treatment. The use of vegetable raw materials for the production of oil sorbents makes it possible to obtain a cost-effective material and solve the problem of waste disposal. The task of searching for optimal methods of phytosorbents modification in order to improve their characteristics is posed. The authors give the description and present the results of the experiment on the modification of sorbents using microwave radiation and solutions of citric and acetic acids. There were determined the main sorption parameters for native and modified samples: oil capacity, sorption capacity under static and dynamic conditions. The conclusion about the practical application of the investigated phytosorbents in wastewater treatment technologies from dissolved oil products was made.

---

**Ключевые слова:** нефтепродукты, сорбция, фитосорбенты, интенсификация сорбции, сточные воды

**Key words:** oil products, sorption, phytosorbents, sorption intensification, wastewater

### Введение

Топливная отрасль является основным направлением развития промышленности Тюменского региона. При этом нефтегазодобыча и переработка сырья – основные источники техногенного загрязнения окружающей среды [1]. Например, водоемы принимают колоссальную антропогенную нагрузку при сбросе неочищенных или плохо очищенных сточных вод, которые образуются на нефтепромыслах, нефтеперерабатывающих заводах, нефтебазах и других подобных промышленных объектах. Концентрация загрязнений источников воды в несколько раз превышает установленные предельно допустимые концентрации: в реке Обь – в 1,6 раза, в Пур – в 2,7 раза, в Иртыше – в 13,8 раза [2].

В воде нефтепродукты могут находиться в свободном, связанном и растворенном состояниях. Свободные крупнодисперсные нефтепродукты всплывают на поверхность воды и могут удаляться методом гравитационного отстаивания. Для удаления связанных мелкодисперсных загрязнений традиционно применяются различные способы флотации и коагуляции. Эффективность процессов очистки составляет более 70 %, при этом удается снизить концентрацию нефтепродуктов в воде до 20 мг/дм<sup>3</sup>. Для извлечения мелкодисперсных эмульгированных нефтепродуктов используется механическое фильтрование, которое позволяет сократить содержание загрязнений до 10 мг/дм<sup>3</sup>. Растворенные нефтепродукты считаются самыми сложными для извлечения из воды. Высокой эффективности можно добиться только при использовании дорогостоящих методов. Снижение концентрации веществ в сточных водах до 1 мг/дм<sup>3</sup> и ниже возможно в процессе сорбции или мембранной очистки [3–5].

Сорбционное поглощение загрязнений из водных растворов – наиболее распространенный способ удаления остаточных нефтепро-

дуктов из поверхностных и производственных сточных вод. Традиционные сорбенты – активированные угли – обладают высокой сорбционной активностью, но весьма дороги для Тюменского региона из-за отсутствия местных месторождений [6]. Приемлемой заменой дорогостоящих углей считаются сорбенты на основе растительного сырья или фитосорбенты: торфы [6–7], отходы деревообработки (опилки, обрезки деревьев) [8–11], растения (мох, ягель) [12] и отходы сельскохозяйственного производства (рисовая шелуха, солома, мандариновые и кокосовые корки) [13–16].

Особый интерес вызывают отходы деревообработки. Основными лесообразующими породами в РФ являются хвойные, что связано с холодным климатом. Среди лиственных пород преобладает береза, древесина которой используется для производства шпона, фанеры, целлюлозы, декоративных изделий. По данным Росстата, количество отходов деревообрабатывающего производства выросло в 1,3 раза за 5 лет [17]. Наряду с этим, в задачи, решаемые коммунальными службами населенных пунктов, входит утилизация на свалках ТБО большого количества древесных отходов от опиловки городских насаждений [18]. Вторичное использование таких материалов позволит внедрить инновационные технологии очистки сточных вод и получить существенную экономию в хозяйственной деятельности предприятий.

Основной проблемой широкомасштабного внедрения сорбентов на растительной основе является их низкая по сравнению с активированными углями сорбционная емкость. Улучшение поглощающих свойств образцов достигается за счет применения различных модификаций. Традиционные способы – это промывка, пропаривание, обработка растворами кислот и солей в сочетании с нагревом, сжигание [6–8, 19]. Реже встречаются способы физического воздействия,

такие как микроволны, ультразвук и другие [14, 20–24]. Например, согласно опубликованным данным [6], простая промывка и сушка торфа позволяет увеличить сорбционную емкость по растворенным нефтепродуктам с 0,1 до 0,3–0,4 мг/г. При обработке торфа микроволнами [25] нефтепоглощение по сырой нефти возрастает до 2,5–2,7 г/г. Применяя модификацию, можно изменить водо- и нефтеемкость у мха и ягеля [12]. Модифицированные кислотой опилки ясеня улучшают свои сорбционные свойства на 43 % [8]. Обработывая микроволнами сосновые опилки, удалось достичь увеличения сорбционной емкости по нефтепродуктам в 3–4 раза [26].

В любом случае экономическая целесообразность применения той или иной модификации требует тщательного анализа с учетом дальнейшей утилизации отработанного сорбента растительного происхождения. После насыщения нефтепродуктами можно предложить дальнейшую сушку и использование загрузочного материала в качестве топлива.

### Объект и методы исследования

В данной работе были исследованы образцы следующих материалов: опилки сосны (отходы деревообработки промышленного предприятия г. Тюмени), измельченные ветки клена, березы и тополя (отходы коммунальной службы г. Тюмени). Размеры фракций материалов – 0,5–2 мм. Все образцы тщательно промывались и высушивались при температуре 105 °С до постоянного веса.

С целью исследования нефтепоглощающих и сорбционных свойств определялись нефтеемкость, сорбционная емкость в статических (ССЕ) и динамических (ДСЕ) условиях. Нефтеемкость исследуемых сорбентов, г/г, рассчитывалась по методике, опубликованной в [9, 26–27], с использованием формулы:

$$HE = \frac{m - m_c - m_k}{m_c},$$

где  $m$  – масса контейнера с образцом сорбента после насыщения сырой нефтью, г;  
 $m_c$  – масса сорбента, г;

$m_k$  – масса контейнера с учетом удерживаемой на нем нефти, г.

Сорбционная емкость в статических условиях определялась следующим образом: в лабораторные стаканы помещались навески сорбентов массой по 5 г и заливались модельным раствором (по 100 см<sup>3</sup>) с исходной концентрацией растворенных нефтепродуктов 18 мг/дм<sup>3</sup>. Пробы с сорбентом выдерживались в течение 15 минут, время было определено на основании предыдущих экспериментов как самое эффективное в условиях статики в интервале от 3 до 60 минут [12, 28–29]. Модельный раствор готовился на базе смазочного материала (масла) для воздушных компрессоров «Mobil Rarus SHC 1025». ССЕ для каждого вида сорбента определялась по формуле, мг/г:

$$CCE = \frac{(C_{ucx} - C_{оч}) \cdot V}{g},$$

где  $g$  – масса сухого сорбента, г;

$V$  – объем приливаемого к сорбенту раствора, дм<sup>3</sup>;

$C_{ucx}$  – исходная концентрация растворенных нефтепродуктов в модельном растворе, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{оч}$  – остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Динамическая сорбция исследовалась при следующих параметрах: через навеску массой по 10 г (высота слоя 8 см, диаметр сечения 52 мм) фильтровалось по 100 см<sup>3</sup> модельного раствора со скоростью одна капля в секунду. ДСЕ вычислялось по формуле:

$$DCE = \sum_{i=1}^n \frac{(C_{ucx} - C_i) \cdot V_i}{g},$$

где  $n$  – количество  $i$ -х порций фильтрата, прошедших через навеску;

$g$  – масса навески сухого сорбента, г;

$V_i$  – объем  $i$ -й порции фильтруемого раствора, дм<sup>3</sup>;

$C_{ucx}$  – исходная концентрация растворенных нефтепродуктов в модельном растворе, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_i$  – остаточная концентрация нефтепродуктов в  $i$ -й порции очищенной воды, мг/дм<sup>3</sup>.

В данном эксперименте ССЕ и ДСЕ для всех образцов сорбентов не достигали полного равновесного значения, и поэтому полученные сорбционные характеристики сравнивались при прочих равных условиях.

Исследовалось влияние двух видов модификаций, а именно: обработка растворами кислот и микроволновое облучение сорбентов. Модификация опилок кислотами проводилась по методике [8]. Помещенные в химическую посуду 5 г исследуемого материала заливались 100 см<sup>3</sup> раствора кислоты с концентрацией 3 %. Для исследования были использованы лимонная кислота (ЛК) и уксусная кислота (УК). После перемешивания в течение 30 минут при температуре 20 °С модифицированный материал был промыт дистиллированной водой и высушен при 105 °С до постоянной массы.

Модификация микроволновым облучением (СВЧ) проводилась при мощности 600 Вт в течение одной минуты. Совместная обработка кислотами и микроволновым излучением проводилась в двух последовательностях: обработка кислотами перед СВЧ-обработкой и обработка кислотами после СВЧ-обработки. Сорбционные свойства (ССЕ и ДСЕ) были определены для мо-

дифицированных материалов по приведенной выше методике и сравнены с результатами для нативных образцов.

### Результаты и обсуждение

Экспериментальные данные по удерживанию нефти сорбционными материалами внесены в таблицу 1, из которой видно, что исходная нефтеемкость преобладает у клена и тополя. Поглощение нефти после СВЧ-модификации на 13 % возрастает у опилок сосны и на 19,7 % у измельченных веток клена. Для тополя и березы обработка микроволнами в данном режиме малоэффективна. Нефтеемкость, как правило, коррелируется с водоемкостью: при снижении поглощения влаги нефтепоглощение возрастает. Это связано с высвобождением пор от воды. Обычно влагоемкость фитосорбентов примерно на 10–20 % выше, чем значение нефтеемкости [12].

Результаты проведенных опытов по определению статических сорбционных свойств нативных и модифицированных фитосорбентов приведены в таблице 2.

Наилучшие значения ССЕ до и после СВЧ-модификации получены для опилок сосны, кле-

Таблица 1

### Нефтеемкость исследуемых материалов

Сорбент	Нефтеемкость, г/г		
	Нативное состояние	После обработки СВЧ	Эффект модификации
Опилки сосны	3,910±0,018	4,420±0,016	+13 %
Измельченные ветки клена	5,316±0,015	6,362±0,017	+19,7 %
Измельченные ветки березы	2,715±0,012	2,674±0,010	≈0 %
Измельченные ветки тополя	5,312±0,019	5,362±0,018	≈0 %

Таблица 2

### Статическая сорбционная емкость исследуемых материалов

Сорбент	Сорбционная емкость в статике (ССЕ), г/г		
	Нативное состояние	После обработки СВЧ	Эффект модификации
Опилки сосны	0,125±0,005	0,164±0,005	+31,2 %
Измельченные ветки клена	0,237±0,004	0,254±0,003	+7,2 %
Измельченные ветки березы	0,161±0,005	0,203±0,006	+20,6 %
Измельченные ветки тополя	0,087±0,003	0,091±0,002	≈0 %

на и березы. Возможно, ветки тополя нуждаются в иной активации, так как относительно небольшая сорбционная емкость практически не изменяется после физического воздействия электромагнитным излучением.

Результаты исследований по динамическим сорбционным свойствам растительных сорбентов отображены в таблице 3.

Наилучшие сорбционные свойства в динамических условиях проявили измельченные ветки березы, их значение ДСЕ для натуральных образцов превышает тополь в 1,62 раза, клен – в

1,54 раза и опилки сосны – в 1,13 раза. Модификация методом микроволнового облучения положительно сказалась на образцах сосны, клена и березы. После одноминутного облучения сорбентов значения ДСЕ увеличились на 7,8–30 %. Особенно это проявилось у измельченных веток березы, ДСЕ которых превышает значения для клена в 1,86 раза, для сосны – в 1,3 раза. Тополь показал снижение сорбционного поглощения растворенных нефтепродуктов после СВЧ-обработки на 11,2 %. Это может быть связано с особенностями строения древесины. Возможно,

Таблица 3

**Динамическая сорбционная емкость исследуемых материалов**

Сорбент	Сорбционная емкость в динамике (ДСЕ), г/г		
	Нативное состояние	После обработки СВЧ	Эффект модификации
Опилки сосны	0,140±0,005	0,158±0,005	+12,9 %
Измельченные ветки клена	0,103±0,006	0,111±0,003	+7,8 %
Измельченные ветки березы	0,159±0,007	0,206±0,006	+30 %
Измельченные ветки тополя	0,098±0,001	0,087±0,002	-11,2 %

Таблица 4

**Способы модификации и сорбционная емкость исследуемых материалов**

Способ модификации	Сорбционная емкость (ССЕ), г/г		
	Нативное состояние	После модификации	Эффект модификации
Опилки сосны			
Обработка СВЧ	0,125±0,005	0,164±0,005	+31,2 %
Обработка раствором ЛК		0,131±0,004	+4,8 %
Обработка раствором УК		0,145±0,004	+16 %
СВЧ-обработка + раствор ЛК		0,145±0,003	+16 %
СВЧ-обработка + раствор УК		0,128±0,003	≈0 %
Раствор ЛК + СВЧ-обработка		0,125±0,005	≈0 %
Раствор УК + СВЧ-обработка		0,135±0,004	+8 %
Измельченные ветки клена			
Обработка СВЧ	0,237±0,004	0,254±0,003	+7,2 %
Обработка раствором ЛК		0,204±0,003	-13,9 %
Обработка раствором УК		0,217±0,004	-8,4 %
СВЧ-обработка + раствор ЛК		0,187±0,005	-21 %
СВЧ-обработка + раствор УК		0,223±0,005	-5,9 %
Раствор ЛК + СВЧ-обработка		0,136±0,003	-42,6 %
Раствор УК + СВЧ-обработка		0,223±0,004	-5,9 %

для тополя необходимо подобрать другие способы активации сорбционных свойств.

Далее рассмотрены различные комбинации модификаций фитосорбентов с использованием кислот и микроволнового воздействия. Результаты по статической сорбционной емкости для измельченных веток клена и опилок сосны, которые являются самыми распространенными отходами, приведены в таблице 4.

Модификация опилок сосны растворами уксусной и лимонной кислот повышает сорбционные качества материала на 16 и 4,8 % соответственно. Если сначала обработать сорбент раствором уксусной кислоты, промыть, а затем прогреть в СВЧ-печи, то можно добиться увеличения сорбционного поглощения нефтепродуктов всего на 8 %. Однако наиболее эффективной оказалась СВЧ-обработка опилок, которая повышает сорбционную статическую емкость в 1,3 раза. Другие варианты обработки микроволнами и растворами кислот оказались нерезультативными. Измельченные ветки клена, напро-

тив, снижали свою сорбционную эффективность практически после всех модификаций на 5,9–42,6 %. Единственный способ активации (обработка СВЧ) повышает значения сорбционной емкости на 7,2 %.

Эффект очистки модельного раствора от растворенных нефтепродуктов опилками сосны и клена после их модификации в различной комбинации микроволнами (СВЧ), растворами лимонной и уксусной кислоты представлен на рис. 1 и 2.

Исследуемые фитосорбенты могут быть использованы в качестве загрузочных материалов фильтрующих сооружений как в нативном, так и модифицированном состоянии. С учетом того, что растворенные нефтепродукты сложно удаляются из воды, данная технология позволит снизить их содержание на 30–70 % при исходной концентрации сточных вод до 20 мг/дм<sup>3</sup>. Такой концентрацией обладают поверхностные сточные воды (дождевые и талые) с территории населенных пунктов, которые носят сезонный характер.

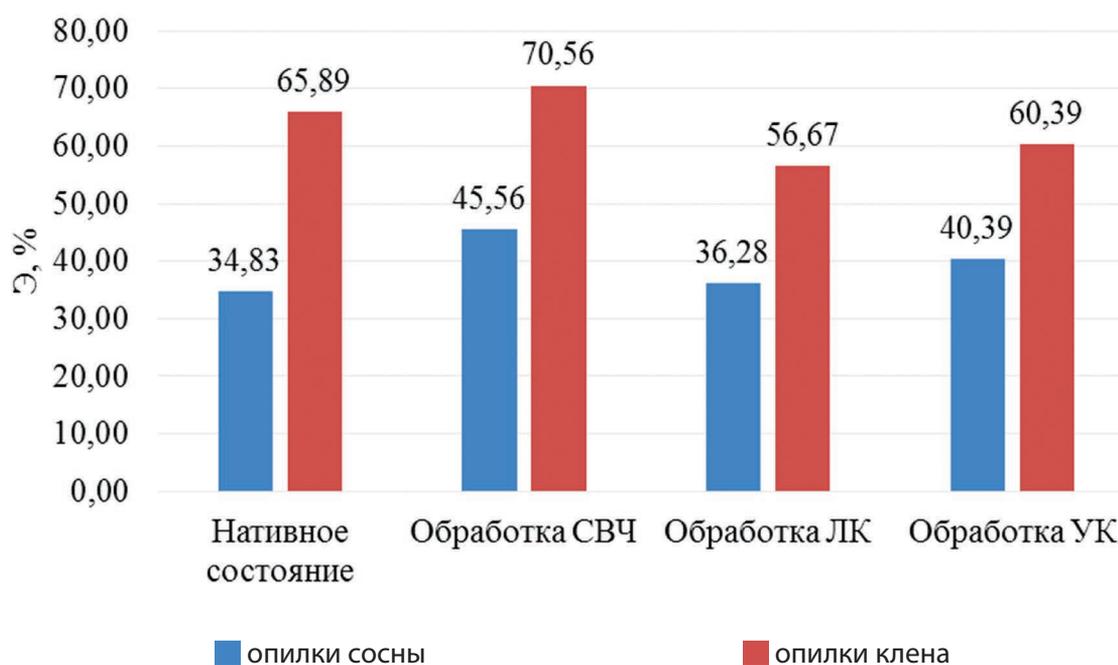


Рис. 1. Эффект очистки модельного раствора от растворенных нефтепродуктов фитосорбентами после их модификации микроволнами (СВЧ), растворами лимонной кислоты (ЛК) и уксусной кислоты (УК)

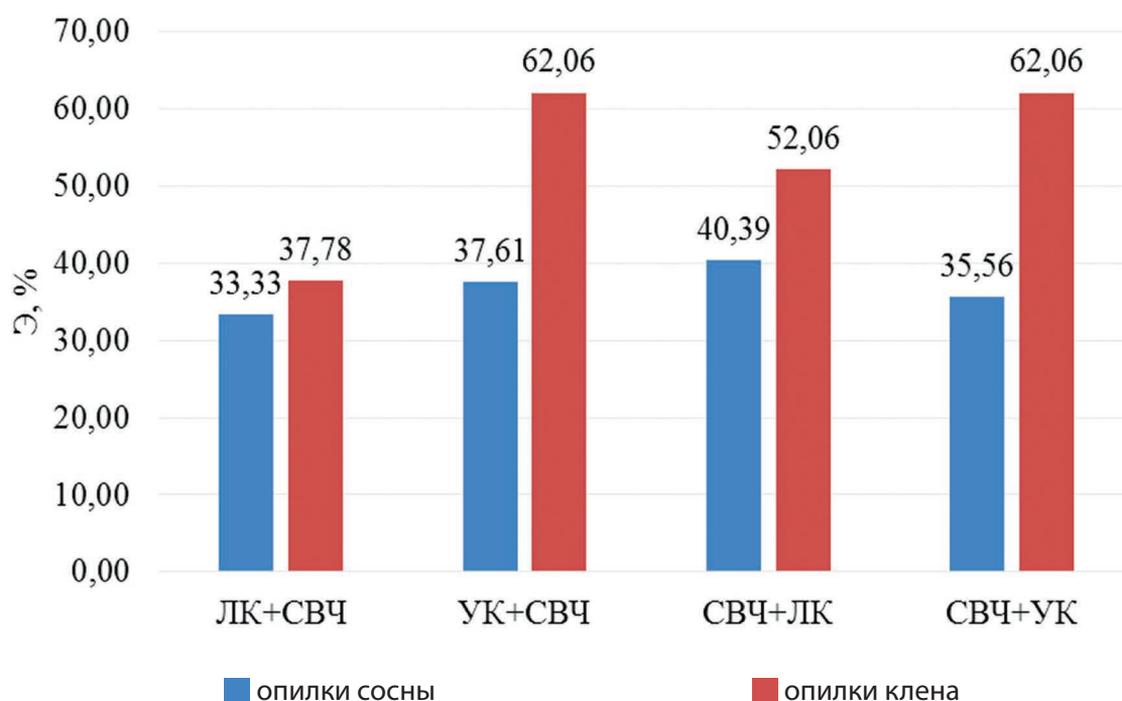


Рис. 2. Эффект очистки модельного раствора от растворенных нефтепродуктов фитосорбентами после их модификации в различной комбинации микроволнами (СВЧ), растворами лимонной кислоты (ЛК) и уксусной кислоты (УК)

### Выводы

Исследовательская работа показала возможности сорбентов на растительной основе извлекать из водных растворов растворенные нефтепродукты с эффективностью 30–70 %. Повысить сорбционные свойства (на 7,2–31,2 %) позволяет микроволновое облучение опилок сосны, из-

мельченных веток клена и березы. Обработка растворами кислот, в том числе в сочетании с СВЧ, малоэффективна. Использование нативных и модифицированных материалов в фильтрующих сооружениях очистки нефтесодержащих сточных вод решает проблему утилизации отходов деревообработки и коммунальных хозяйств.

### Библиографический список

1. Состояние и перспектива традиционного и интеллектуального освоения углеводородных ресурсов Арктического шельфа России / А. Н. Дмитриевский, Н. А. Еремин, Н. А. Шабалин [и др.]. – Текст : электронный // Neftegaz.RU. – 2017. – № 1. – URL : <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/538351-sostoyanie-i-perspektivy-osvoeniya-uglevodorodnykh-resursov-arkticheskogo-shelfa-rossii/> (дата обращения : 06.02.2022).
2. Загрязнение западносибирских рек нефтепродуктами за период 2000–2017 гг. / О. В. Мезенцева, Н. П. Волковская, В. П. Захарова, В. В. Гурьянова. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12. – С. 175–181.
3. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей / Е. В. Веприкова, Е. А. Терещенко, Н. В. Чесноков [и др.]. – Текст : непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия : Химия. – 2010. – Т. 3. – № 3. – С. 285–304.

- 
4. Activated carbons for arsenic removal from natural waters and wastewaters : a review / E. Meez, A. K. Tolkou, D. A. Giannakoudakis [et al.]. – DOI: 10.3390/w13212982. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – Issue 21. – Pp. 2982. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/21/2982/htm> (дата обращения : 03.03.2022).
  5. Шарафутдинова, Г. М. Повышение экологичности нефтеперерабатывающих предприятий созданием ресурсосберегающих химико-технологических водных систем на основе мембранных процессов : специальности 03.00.16 «Экология», 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шарафутдинова Гульнара Минигаяновна ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2008. – 24 с. – Место защиты : Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Текст : непосредственный.
  6. Большаков, А. А. Природные минералы Тюменской области : свойства и перспективы использования в процессах очистки воды : монография / А. А. Большаков, Е. И. Вялкова. – Санкт-Петербург : Недра, 2005. – 128 с. – Текст : непосредственный.
  7. Faizal, A. M. Removal of oil from water by column adsorption method using microwave incinerated rice husk ash (MIRHA) / A. M. Faizal, S. R. M. Kutty, E. H. Ezechi. – DOI: 10.1007/978-981-287-290-6\_84. – Electronic text // *InCIEC 2014. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference*. – Singapore : Springer, 2015. – pp. 963–971. – URL : [https://doi.org/10.1007/978-981-287-290-6\\_84](https://doi.org/10.1007/978-981-287-290-6_84) (дата обращения : 03.03.2022).
  8. Денисова, Т. Р. Увеличение нефтеемкости опилок ясеня обработкой растворами кислот / Т. Р. Денисова, И. Г. Шайхиев, И. Я. Сиппель. – Текст : непосредственный // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т. 18. – № 17. – С. 233–236.
  9. Малышкина, Е. С. Использование природных сорбентов в процессе очистки воды от нефтепродуктов / Е. С. Малышкина, Е. И. Вялкова, Е. Ю. Осипова. – DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200. – Текст : непосредственный // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2019. – Т. 21. – № 1. – С. 188–200.
  10. Воронов, А. А. Очистка талых вод урбанизированных территорий с использованием фитосорбентов / А. А. Воронов, С. В. Максимова, Е. Ю. Осипова. – DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-105-117. – Текст : непосредственный // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 105–117.
  11. Влияние сшивающего эффекта на свойства сорбентов, получаемых из коры осины и лиственницы / Н. М. Микова, Г. П. Скворцова, Е. В. Мазурова, Н. В. Чесноков. – DOI: 10.1134/S00444461819100128. – Текст : непосредственный // *Журнал прикладной химии*. – 2021. – Т. 92. – № 10. – С. 1333–1343.
  12. Микроволновая обработка природных сорбентов в технологии очистки сточных вод / Е. С. Коршикова, А. М. Фугаева, Е. И. Вялкова, Е. Ю. Осипова. – DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-1-175-187. – Текст : непосредственный // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2022. – Т. 24. – № 1. – С. 175–187.
  13. Rice straw as a natural sorbent in a filter system as an approach to bioremediate diesel pollution / S. H. Taufik, S. A. Ahmad, N. N. Zakaria [et al.]. – DOI: 10.3390/w13233317. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – Issue 23. – Pp. 3317. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3317> (дата обращения : 03.03.2022).
  14. Влияние СВЧ-обработки клиноптилолита на его ионообменные кинетические свойства / Т. Бахия, Р. Х. Хамизов, М. Д. Бавижев, М. А. Конов. – Текст : непосредственный // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2016. – Т. 16. – № 6. – С. 803–812.
  15. Enhanced adsorptive removal of dyes using mandarin peel biochars via chemical activation with  $\text{NH}_4\text{Cl}$  and  $\text{ZnCl}_2$  / H. Park, J. Kim, Y.-G. Lee, K. Chon. – DOI: 10.3390/w13111495. – Electronic text // *Water*. –

2021. – Vol. 13. – Issue 11. – P. 1495. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/11/1495> (дата обращения : 03.03.2022).
16. González-Delgado, A. D. Evaluation of three biomaterials from coconut mesocarp for use in water treatments polluted with an anionic dye / A. D. González-Delgado, A. Villabona-Ortíz, C. Tejada-Tovar. – DOI: 10.3390/w14030408. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 14. – Issue 3. – P. 408. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/408> (дата обращения : 03.03.2022).
17. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/>. – Текст : электронный (дата обращения : 22.02.2022).
18. Шаталов, П. В. Инновационный подход к утилизации древесных отходов при опилковке городских насаждений в г. Воронеже / П. В. Шаталов, А. Л. Подкопаева. – Текст : непосредственный // *Инновации, технологии и бизнес*. – 2020. – № 1 (7). – С. 102–108.
19. Панкеев, В. В. Модификация целлюлозосодержащих отходов, обеспечивающая создание сорбентов с высокой удельной нефтеемкостью / В. В. Панкеев, Л. Г. Панова, Е. С. Свешникова. – Текст : непосредственный // *Технические науки – от теории к практике*. – 2012. – № 7–2. – С. 59–63.
20. Бердонос, С. С. Микроволновая химия / С. С. Бердонос. – Текст : непосредственный // *Соровский образовательный журнал*. – 2001. – Т. 7. – № 1. – С. 32–38.
21. Vialkova, E. Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewater sludge treatment : a review / E. Vialkova, M. Obukhova, L. Belova. – DOI: 10.3390/w13131784. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – Issue 13. – Pp. 1784. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1784> (дата обращения : 03.03.2022).
22. Ultrasonic or microwave cascade treatment of medicinal plant waste / V. Staicu, C. Luntraru, I. Calinescu [et al.]. – DOI:10.3390/su132212849. – Electronic text // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. – No. 22. – Pp. 12849. – URL : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12849> (дата обращения : 03.03.2022).
23. Torgovnikov, G. Microwave wood modification technology and its application / G. Torgovnikov, P. Vinden. – DOI: 10.13073/0015-7473-60.2.173. – Direct text // *Forest products journal*. – 2010. – Vol. 60. – No. 2. – Pp. 173–182.
24. Галкин, В. П. Сушка древесины в электромагнитном поле сверхвысоких частот : специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Галкин Владимир Павлович ; Московский государственный университет леса. – Москва, 2010. – 40 с. – Место защиты : Московский государственный университет леса. – Текст : непосредственный.
25. Данилов, О. С. Исследование влияния электромагнитного микроволнового излучения на твердые горючие ископаемые / О. С. Данилов, В. А. Михеев, Т. В. Москаленко. – Текст : непосредственный // *Известия Самарского научного Центра Российской Академии наук*. – 2011. – Т. 13. – № 1–5. – С. 1264–1267.
26. Малышкина, Е. С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов / Е. С. Малышкина. – Текст : непосредственный // *Градостроительство и архитектура*. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 26–34.
27. Максимова, С. В. Исследование сорбционной способности отходов обрезки городских деревьев по отношению к растворенным нефтепродуктам в водных средах / С. В. Максимова, А. А. Воронов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-33-39. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2021. – № 2. – С. 33–39.
28. Денисова, Т. Р. Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревопереработки : специальность 03.02.08 «Экология (в химии и нефтехимии)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Денисова Татьяна Рамилевна ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань, 2017. – 162 с. – Текст : непосредственный.

- 
29. Галимова, Р. З. Очистка фенолсодержащих сточных вод нативными и модифицированными адсорбционными материалами на основе отходов сельскохозяйственного и промышленного производства : специальность 03.02.08 «Экология (в химии и нефтехимии)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Галимова Румия Захидовна ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань, 2017. – 128 с. – Текст : непосредственный.

### References

1. Dmitrievskiy, A. N., Eremin, N. A., Shabalin, N. A., Kondratyuk, A. T., & Eremin, A. N. (2017). Sostoyanie i perspektiva traditsionnogo i intellektual'nogo osvoeniya uglevodorodnykh resursov Arkticheskogo shelfa Rossii. *Neftegaz.RU*, (1). (In Russian). Available at: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/538351-sostoyanie-i-perspektivy-osvoeniya-uglevodorodnykh-resursov-arkticheskogo-shelfa-rossii/> (date of the application: 06.02.2022).
2. Mezentseva, O. V., Volkovskaya, N. P., Zakharova, V. P., & Guryanova, V. V. (2018). Pollution of the west Siberian Rivers by oil products for the period 2000–2017. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, (12), pp. 175-181. (In Russian).
3. Veprikova, E. V., Tereshchenko, E. A., Chesnokov, N. V., Shchipko, M. L., & Kuznetsov, B. N. (2010). Peculiarity of water purifying from oil products with make use of oil sorbents, filtering materials and active coals. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 3(3), pp. 285-304. (In Russian).
4. Meez, E., Tolkou, A. K., Giannakoudakis, D. A., Katsoyiannis, I. A., & Kyzas, G. Z. (2021). Activated carbons for arsenic removal from natural waters and wastewaters: a review. *Water*, 13(21), pp. 2982. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/21/2982/htm> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13212982
5. Sharafutdinova, G. M. (2008). Povyshenie ekologichnosti neftepererabatyvayushchikh predpriyatii sozdaniem resursosbergayushchikh khimiko-tekhnologicheskikh vodnykh sistem na osnove membrannykh protsessov. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 24 p. (In Russian).
6. Bol'shakov, A. A., & Vyalkova, E. I. (2005). Prirodnye mineraly Tyumenskoy oblasti: svoystva i perspektivy ispol'zovaniya v protsessakh ochistki vody. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 128 p. (In Russian).
7. Faizal, A. M., Kutty, S. R. M., & Ezechi, E. H. (2015). Removal of Oil from Water by Column Adsorption Method Using Microwave Incinerated Rice Husk Ash (MIRHA). In CIEC 2014. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference. Singapore, Publ. Springer, pp. 963-971. (In English). Available at: [https://doi.org/10.1007/978-981-287-290-6\\_84](https://doi.org/10.1007/978-981-287-290-6_84) (date of the application: 03.03.2022).
8. Denisova, T. R., Shaykhiev, I. G., & Sippel', I. Ya. (2015). Uvelichenie nefteemkosti opilok yasnya obrabotkoy rastvorami kislot. *Bulletin of the Technological University*, 18(17), pp. 233-236. (In Russian).
9. Malyshkina, E. S., Vyalkova, E. I., & Osipova, E. Yu. (2019). Water purification with natural sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*, 21(1), pp. 188-200. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200
10. Voronov, A. A., Maksimova, S. V., & Osipova, E. Yu. (2021). Purification of urbanized melt water with plant sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*, 23(2), pp. 105-117. (In Russian). DOI:10.31675/1607-1859-2021-23-2-105-117
11. Mikova, N. M., Skvortsova, G. P., Mazurova, E. V., & Chesnokov, N. V. (2019). Influence exerted by cross-linking effect on properties of sorbents produced from aspen and larch bark. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 92(10), pp. 1422-1431. (In Russian). DOI: 10.1134/S0044461819100128

12. Korshikova, E. S., Fugaeva, A. M., Vyalkova, E. I., & Osipova, E. Yu. (2022). Microwave treatment of natural sorbents in wastewater purification. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*, 24(1), pp. 175-187. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-1-175-187
13. Taufik, S. H., Ahmad, S. A., Zakaria, N. N., Shahaaruddin, N. A., Azmi, A. A., Khalid, F. E., ... Khalil, K. A. (2021). Rice straw as a natural sorbent in a filter system as an approach to bioremediate diesel pollution. *Water*, 13(23), pp. 3317. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3317> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13233317
14. Bakhia, T., Khamizov, R. Kh., Bavizhev, M. D., & Konov, M. A. (2016). The effect of microwave treatment of clinoptilolite on its ion-exchange kinetic properties. *Sorption and Chromatography Processes*, 16(6), pp. 803-812. (In Russian).
15. Park, H., Kim, J., Lee, Y.-G., & Chon, K. (2021). Enhanced adsorptive removal of dyes using mandarin peel biochars via chemical activation with  $\text{NH}_4\text{Cl}$  and  $\text{ZnCl}_2$ . *Water*, 13(11), pp. 1495. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/11/1495> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13111495
16. González-Delgado, A. D., Villabona-Ortíz, A., & Tejada-Tovar, C. (2021). Evaluation of three biomaterials from coconut mesocarp for use in water treatments polluted with an anionic dye. *Water*, 14(3), pp. 408. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/408> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w14030408
17. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. (In Russian). Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (date of the application: 22.02.2022).
18. Shatalov, P. V., & Podkopaeva, A. L. (2020). An innovative approach to the disposal of wood waste when filing urban plantations in the city of Voronezh. *Innovatsii, tekhnologii i biznes*, 1(7), pp. 102-108. (In Russian).
19. Pankeev, V. V., Panova, L. G., & Sveshnikova, E. S. (2012). Modifikatsiya tsellyulozosoderzhashchikh otkhodov, obespechivayushchaya sozdanie sorbentov s vysokoy udel'noy nefteemkost'yu. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, (7-2), pp. 59-63. (In Russian).
20. Berdonosov, S. S. (2001). Microwave chemistry. *Soros Educational Journal*, 7(1), pp.32-38. (In Russian).
21. Vialkova, E., Obukhova, M., & Belova, L. (2021). Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewater sludge treatment: a review. *Water*, 13(13), pp. 1784. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1784/> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13131784
22. Staicu, V., Luntraru, C., Calinescu, I., Chisega-Negrila, C. G., Vinatoru, M., Neagu, M., ... Popa, I. (2021). Ultrasonic or microwave cascade treatment of medicinal plant waste. *Sustainability*, 13(22), pp. 12849. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12849> (date of the application: 03.03.2022). DOI:10.3390/su132212849
23. Torgovnikov, G., & Vinden, P. (2010). Microwave wood modification technology and its application. *Forest products journal*, 60(2) pp. 173-182. (In English). DOI: 10.13073/0015-7473-60.2.173
24. Galkin, V. P. (2010). *Sushka drevesiny v elektromagnitnom pole sverkhvysokikh chastot. Avtoref. diss. ... dokt. tekhn. nauk. Moscow*, 40 p. (In Russian).
25. Danilov, O. S., Mikheyev, V. A., & Moskalenko, T. V. (2011). Research of electromagnetic microwave radiation influence on the solid fuels. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 13(1–5), pp. 1264-1267. (In Russian).
26. Malyshkina, E. S. (2020). Classification of sorbents used in technologies for purification of waste water from petroleum products. *Urban Construction and Architecture*, 21 (1), pp. 26-34. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5

- 
27. Maksimova, S. V., & Voronov, A. A. (2021). Research of sorption capacity of cutting waste of urban trees in relation to dissolved petroleum products in aquatic environments. *Architecture, construction, transport*, (2), pp. 33-39. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-33-39
  28. Denisova, T. R. (2017). *Adsorbtsionnaya ochistka vodnykh ob"ektov ot nefti s ispol'zovaniem modifitsirovannykh otkhodov derevopererabotki*. Diss. kand. tekhn. nauk. Kazan, 162 p. (In Russian).
  29. Galimova, R. Z. (2017). *Ochistka fenolsoderzhashchikh stochnykh vod nativnymi i modifitsirovannymi adsorbtsionnymi materialami na osnove otkhodov sel'skokhozyaystvennogo i promyshlennogo proizvodstva*. Diss. kand. tekhn. nauk. Kazan, 128 p. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

Максимова Светлана Валентиновна, к. т. н., доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: maksimovasv@tyuiu.ru

Коршикова Елена Сергеевна, главный специалист по входному контролю, управление по качеству и стандартизации, АО «Тюменская домостроительная компания», e-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

Вялкова Елена Игоревна, к. т. н., доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

Фугаева Анастасия Михайловна, аспирант кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: nastyafugaeva@mail.ru

Воронов Артем Андреевич, бакалавр кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: tepliy.ipod@gmail.com

#### **Information about the authors**

Svetlana V. Maksimova, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: maksimovasv@tyuiu.ru

Elena S. Korshikova, Chief Specialist for Incoming Control, Quality and Standardization Department, JSC "Tyumen House-Building Company", e-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

Elena I. Vialkova, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

Anastasia M. Fugaeva, Postgraduate at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: nastyafugaeva@mail.ru

Artem A. Voronov, Bachelor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: tepliy.ipod@gmail.com

**Для цитирования:** Модификация фитосорбентов для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод / С. В. Максимова, Е. С. Коршикова, Е. И. Вялкова [и др.]. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-42-53. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2022. – № 1 (99). – С. 42–53.

**For citation:** Maksimova, S. V., Korshikova, E. S., Vialkova, E. I., Fugaeva, A. M., & Voronov, A. A. (2022). Modification of phytosorbents to intensify the treatment of wastewater containing oil products. *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 42-53. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-42-53.