

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОТХОДОВ ОБРЕЗКИ ГОРОДСКИХ ДЕРЕВЬЕВ ПО ОТНОШЕНИЮ К РАСТВОРЕННЫМ НЕФТЕПРОДУКТАМ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

С. В. Максимова, А. А. Воронов
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

RESEARCH OF SORPTION CAPACITY OF CUTTING WASTE OF URBAN TREES IN RELATION TO DISSOLVED PETROLEUM PRODUCTS IN AQUATIC ENVIRONMENTS

Svetlana V. Maksimova, Andrey A. Voronov
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы, связанные с очисткой поверхностных сточных вод городских территорий. Поставлена задача поиска методов извлечения из водных растворов нефтепродуктов, относящихся к основным загрязнениям поверхностных сточных вод. Использование измельченных отходов от опилки городских деревьев в качестве сорбента позволяет получить экономичный материал и решить задачу утилизации веток деревьев. Приведено описание эксперимента по определению нефтеемкости и статической обменной емкости опилок клена и тополя. Установлена зависимость степени извлечения нефтепродуктов фитосорбентами от времени контакта. Сформулирован вывод о применимости отходов опила городских деревьев в качестве загрузки сорбционных фильтров для очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов.

Abstract. The article considers main problems associated with the treatment of surface wastewater in urban areas. This work addresses the task of searching for methods of extraction from aqueous solutions of petroleum products related to the main contamination of surface wastewater. Shredded waste from urban trees filing is an economical sorption material. Urban trees' sawdust solves the problem of recycling tree branches. The authors describe of the experimental determination of oil capacity and static exchange capacity of maple and poplar sawdust, and show a dependence of the degree of extraction of oil products by phytosorbents on the contact time. The article concludes with assessment of applying urban trees filing waste as a sorption filters' filling for cleaning surface wastewater from oil products.

Ключевые слова: поверхностные сточные воды, очистка поверхностного стока, нефтепродукты, сорбция, фитосорбенты, опилочка деревьев

Key words: surface wastewater, surface wastewater treatment, petroleum products, sorption, phytosorbents, tree filing

Введение

К основным загрязнениям поверхностных сточных вод, образующихся на территориях современных городов и промышленных предприятий, относятся взвешенные вещества, нефтепродукты, органические вещества, ионы тяжелых металлов, хлориды [1]. Очистные сооружения поверхностного стока и талого стока снежных полигонов являются периодически действующими.

Поверхностные сточные воды также образуются на строительных площадках в результате обмыва поверхностей автотранспорта при выезде на городскую территорию. Основными видами загрязнений данных сточных вод являются взвешенные вещества и нефтепродукты. Концентрация нефтепродуктов может достигать значений 30-80 мг/дм³. Сорбционные методы очистки в сочетании с предварительным отстаиванием снижают концентрации загрязнений в сточных водах от мойки автомобилей до значений, позволяющих создать оборотный цикл водопользования [2].

Для указанных объектов и категорий сточных вод важно подобрать экономичные методы и очистные сооружения.

Еще одной проблемой городского хозяйства является уход за древесными насаждениями. После опилочки городских деревьев в Воронеже (население 1,06 млн чел., общая площадь – 59,6 тыс. га, площадь зеленых зон общего пользования – 959 га) ежегодно образуется 8 137 м³ фитомассы, которую необходимо утилизировать. Пирамидальные тополя составляют 25 % от общего количества деревьев [3]. Исследования, проведенные в городе Йошкар-Оле, показали, что более 50 % живых изгородей состоит из клена ясенелистного [4]. В сибирском регионе к наиболее часто используемым в практике озеленения лиственным породам относятся: береза, клен, тополь [5, 6].

Выбранные для дальнейших исследований клен и тополь – достаточно распространенные виды в составе зеленых насаждений российских городов.

Клен ясенелистный был завезен в Европу в XVII веке из Северной Америки и первоначально произрастал в ботанических садах и парках. В настоящее время он является инвазионным видом и препятствует биологическому разнообразию растений. Клен ясенелистный быстрее других пород деревьев образует многоярусные заросли, затрудняя возобновление местных видов. Именно быстрый рост сделал его популярной в озеленении культурой. Однако ввиду этой особенности поддержание посадок клена в ухоженном состоянии является трудоемким процессом. Корневая поросль клена портит газоны и разрушает асфальтовое покрытие дорог и тротуаров. Быстрое разрастание создает проблемы при обслуживании инженерных коммуникаций. По указанным причинам клен ясенелистный не рекомендуется к применению в озеленении населенных мест [4].

Тополь относится к наиболее распространенным видам деревьев, применяемых в озеленении населенных пунктов. Это связано с его зимостойкостью, пыле- и газоустойчивостью, а также способностью к быстрому росту. Он легко адаптируется к изменению внешних условий, например, к коротким вегетационным периодам северных регионов [7]. Тополь нашел широкое применение в защитном лесоразведении, закреплении берегов и оврагов. К недостаткам использования тополя в городах можно отнести образование пуха в летний период.

Исследования использования компонентов лиственных деревьев в качестве сорбционных материалов для извлечения загрязнений из водных сред показали их эффективность в отношении ионов металлов и нефтепродуктов. Изучение сорбции ионов Ni²⁺ и ионов Cr₂O₇²⁻ из раство-

ров с концентрацией 1,0-25,0 мг/дм³ опилками клена показало, что сорбционное равновесие устанавливается в течение 60 и 200 минут соответственно. Эффект очистки от ионов Cu²⁺ кленовыми опилками достигает значений 62–82 % при оптимальных значениях pH = 5,0 ÷ 7,0. Время насыщения сорбента из листового опада клена и тополя нефтепродуктами до 80 % от максимальной емкости составляет не более 6 минут, что является важной эксплуатационной характеристикой сорбционных фильтров. Сорбционная емкость модифицированных опилок деревьев рода тополь по отношению к полициклическим ароматическим углеводородам составила 4,26 ÷ 4,89 мг/г [8].

При изучении применимости отходов десяти видов деревьев, преобладающих на территории Хорватии, для удаления из водного раствора синтетического красителя Конго красного (Congo Red) был сделан вывод о том, что евроамериканский тополь является эффективным биосорбентом. Степень извлечения указанного соединения достигла 71,8 % [9].

Объект и методы исследования

В данной работе полученные во время зимней обрезки деревьев ветки клена и тополя были измельчены и просеяны через сито с размерами ячеек 2 мм (рис. 1). У мелких опилок площадь поверхности больше, что улучшает сорбционную способность материала [10]. Перед исследованиями материал был высушен до постоянной массы в сушильном шкафу.

Нефтеемкость опила веток определяли следующим образом. Сетчатый контейнер цилиндрической формы с 5 г исследуемого материала опускали в нефтепродукты и оставляли на 10 минут (рис. 2).

После извлечения контейнера из нефтяной среды давали избытку нефтепродуктов стечь и взвешивали насыщенный нефтепродуктами сорбционный материал вместе с контейнером. Перед началом исследования сорбента была определена масса сетчатого контейнера вместе с удерживаемыми на нем нефтепродуктами (холодная проба) [11, 12].



Рис. 1. Обрезка городских деревьев

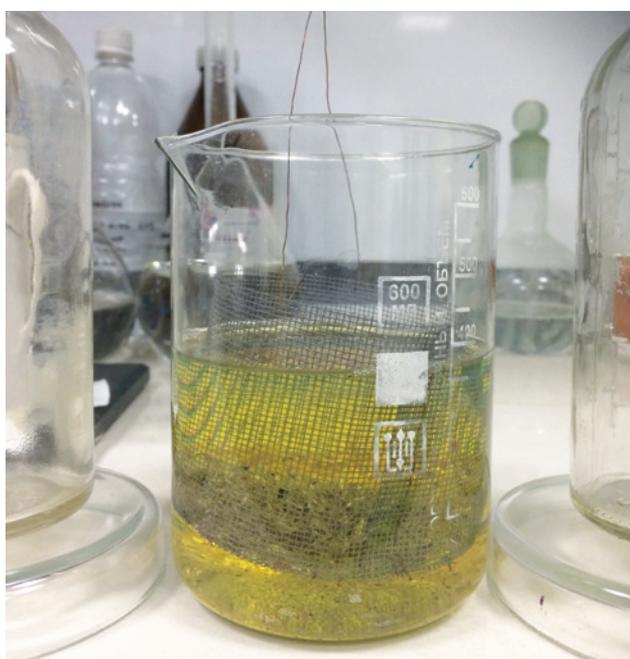


Рис. 2. Определение нефтеемкости

Нефтеемкость была определена по формуле, г/г:

$$HE = \frac{m - m_c - m_k}{m_c}, \quad (1)$$

где m – масса контейнера с сорбционным материалом и удерживаемыми нефтепродуктами, г;

m_c – масса сорбционного материала, г;

m_k – масса контейнера с удерживаемыми нефтепродуктами (холостая проба), г.

Для определения степени извлечения нефтепродуктов из водного раствора исследуемыми сорбционными материалами в лабораторную посуду были помещены их навески массой 5 г и залиты 100 см³ модельного раствора с исходной концентрацией нефтепродуктов 12,7 мг/дм³. Отбор проб воды для определения содержания в ней нефтепродуктов после контакта с сорбентами осуществлялся через 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 60 минут.

Определение концентрации растворенных нефтепродуктов проводилось на анализаторе жидкости «Флюорат-02-3М». Метод основан на экстракции гексаном нефтепродуктов из пробы воды и измерении интенсивности флуоресценции полученного экстракта на анализаторе жидкости с последующим автоматическим вычислением концентрации.

Статическая обменная емкость (СОЕ) была определена по формуле, мг/г:

$$COE = \frac{(C_{исх} - C_{равн}) \cdot V}{g}, \quad (2)$$

где g – масса сухого сорбента, г;

V – объем приливаемого к сорбенту раствора, дм³;

$C_{исх}$ – исходная концентрация нефтепродуктов в исходной воде, мг/дм³;

$C_{равн}$ – равновесная (остаточная) концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, мг/дм³.

Результаты

Итог определения нефтеемкости опила веток клена и тополя внесен в таблицу 1. Для сравнения в таблице приведены данные по нефтеемкости природных органических материалов по результатам исследований других авторов [13]. Из таблицы 1 видно, что нефтеемкость исследуемых опилок уступает только торфу и бересте березы.

Таблица 1

Нефтеемкость природных органических материалов

Материал	Нефтеемкость, г/г
Опил веток клена	5,32
Опил веток тополя	5,36
Кора сосны	3,8
Опилки осины	4,7
Кора осины	4,9
Торф	6–7
Береста березы	7,2

Зависимость степени извлечения нефтепродуктов опилом веток клена и тополя представлена на рис. 3.

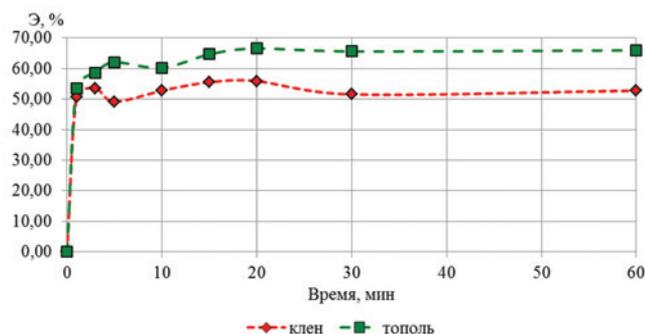


Рис. 3. Зависимость степени извлечения нефтепродуктов опилом веток клена и тополя от времени

Обсуждение

По классификации нефтеемкость опила веток клена и тополя можно отнести к категории «средняя» (5-15 г/г) [11].

Сорбция зависит от времени контакта между сорбентом и извлекаемым веществом. Определение оптимального времени контакта для применения исследуемого сорбента в реальных условиях очистных сооружений важно. Из рис. 3 видно, что процесс сорбции нефтепродуктов из водного раствора опилками клена и тополя на начальных стадиях идет достаточно быстро. Уже через 1 минуту контакта степень извлечения нефтепродук-

тов из водного раствора составляет 50,79 % для опилок клена и 53,54 % для опилок тополя. Затем, после насыщения внешней поверхности и больших пор, процесс извлечения нефтепродуктов из водного раствора сорбентом несколько замедляется. Это связано с тем, что нефтепродукты транспортируются от участков на поверхности фитосорбента к внутренним участкам. Максимального значения эффект очистки достигает на 20-й минуте, далее в системе наступает равновесие. Величина сорбционной обменной емкости в этот момент времени составляет: для клена – 0,142 мг/дм³, для тополя – 0,169 мг/дм³.

В соответствии с классификацией сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов, приведенной в работе [11], скорость поглоще-

ния нефтепродуктов опилом веток клена и тополя средняя (10-30 минут).

Выводы

Сорбционные материалы, полученные из опила веток городских деревьев, удовлетворяют таким требованиям, как высокая сорбционная способность по отношению к нефтепродуктам, минимальное время поглощения основной массы загрязнений, экономичность, экологичность, технологичность изготовления и утилизации.

Отходы опила городских деревьев являются перспективными материалами для использования в качестве загрузки сорбционных фильтров для очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов.

Библиографический список

1. Совершенствование рациональных городских инженерных систем очистки поверхностных сточных вод / А. А. Воронов, Е. С. Малышкина, Е. И. Вялкова, С. В. Максимова. – DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.10. – Текст : непосредственный // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8. – № 3. – С. 43–50.
2. Москвичева, Е. В. Состав сточных вод, образующихся после обмыва автотранспорта на строительных площадках / Е. В. Москвичева, О. П. Радченко, Д. П. Клочков. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 1(78). – С. 182–189.
3. Шаталов, П. В. Инновационный подход к утилизации древесных отходов при опилровке городских насаждений в г. Воронеже / П. В. Шаталов, А. Л. Подкопаева. – Текст : непосредственный // Инновации, технологии и бизнес. – 2020. – № 1 (7). – С. 102–108.
4. Горяева, Е. В. Инвентаризация зеленых насаждений с использованием ГИС-технологий на примере города Лесосибирска / Е. В. Горяева, А. П. Мохирев. – Текст : непосредственный // Лесной журнал. – 2015. – № 2. – С. 80–89.
5. Куклина, Т. Э. Ассортимент древесных растений, используемых в озеленении г. Томска / Т. Э. Куклина, И. Е. Мерзлякова. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 4 (24). – С. 47–66.
6. Серебрякова, Н. Е. Оценка качественного состава живых изгородей города Йошкар-Олы / Н. Е. Серебрякова, А. С. Сватухин, А. А. Решетняк. – Текст : непосредственный // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3 (14). – С. 71–78.
7. Cooke, J. E. K. Trees of the people: the growing science of poplars in Canada and worldwide / J. E. K. Cooke, S. B. Rood. – DOI: 10.1139/B07-125. – Direct text // Canadian Journal of Botany. – 2007. – Vol. 85. – Iss. 12. – P. 1103–1110.
8. Денисова, Т. Р. Использование компонентов лиственных деревьев средней полосы России в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. Обзор литературы / Т. Р. Денисова, И. Г. Шайхиев. – Текст : непосредственный // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 24. – С. 145–158.

9. From waste to biosorbent: removal of Congo Red from water by waste wood biomass / M. Stjepanović, N. Velić, A. Galić [et al.]. – DOI: 10.3390/w13030279. – Direct text // Water. – 2021. – V. 13. – P. 279.
10. Ismail, A. S. Preparation and evaluation of fatty sawdust as a natural biopolymer for oil spill sorption / A. S. Ismail. – Direct text // Chemistry Journal. – 2015. – Vol. 5. – Iss. 5. – Pp. 80–85.
11. Малышкина, Е. С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов / Е. С. Малышкина. – DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5. – Текст : непосредственный // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 26–34.
12. 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.
13. 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.

References

1. Voronov, A. A., Malyshkina, E. S., Vialkova, E. I., & Maksimova, S. V. (2018). Development of the rational urban engineering systems for the surface wastewater treatment. *Urban Construction and Architecture*, 8 (3), pp. 43-50. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.10
2. Moskvicheva, E. V., Radchenko, O. P., & Klochkov, D. P. (2020). The composition of wastewater generated after washing of vehicles at construction sites. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura*, 1(78), pp. 182-189. (In Russian).
3. 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).
4. Goryaeva, E. V., & Mokhirev, A. P. (2015). Inventarizatsiya zelenykh nasazhdeniy s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii na primere goroda Lesosibirsk. *Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal)*, (2), pp. 80-89. (In Russian).
5. Kuklina, T. E., & Merzlyakova, I. E. (2013). Assortment of woody plants used in Tomsk landscape gardening. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya (Tomsk State University Journal of Biology)*, 4 (24), pp. 47-66. (In Russian).
6. Serebryakova, N. E., Svatukhin, A. S., & Reshetnyak, A. A. (2020). Assessment of the qualitative composition of the living fences of the city of Yoshkar-Ola. *Housing and utilities infrastructure*, 3 (14), pp. 71-78. (In Russian).
7. Cooke, J. E. K., & Rood, S. B. (2007). Trees of the people: the growing science of poplars in Canada and worldwide. *Canadian Journal of Botany*, 85(12), pp. 1103-1110. (In English). DOI: 10.1139/B07-125
8. Denisova, T. R., & Shaikhiev, I. G. (2017). Ispol'zovanie komponentov listvennykh derev'ev sredney polosy rossii v kachestve sorbtsionnykh materialov dlya udaleniya pollyutantov iz vodnykh sred. *Obzor literatury. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 20 (24), pp. 145-158. (In Russian).
9. Stjepanovic, M., Velic, N., Galic, A., Kosovic, I., Jakovljevic, T., & Habuda-Stanic, M. (2021). From Waste to Biosorbent: Removal of Congo Red from Water by Waste Wood Biomass. *Water*, 13(3), pp. 279. (In English). DOI: 10.3390/w13030279
10. Ismail, A. S. (2015). Preparation and evaluation of fatty sawdust as a natural biopolymer for oil spill sorption. *Chemistry Journal*, 5(5), pp. 8-85. (In English). DOI: 10.3390/w13030279

-
11. 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
 12. Malyshkina E. S., Vyalkova, E. I., & Osipova, E. Yu. (2019). Water purification with natural sorbents. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*, 21(1), pp. 188-200. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200
 13. 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).

Сведения об авторах

Максимова Светлана Валентиновна, к. т. н., профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: maksimovasv@tyuiu.ru

Воронов Андрей Александрович, аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: teplooo@mail.ru

Information about the authors

Svetlana V. Maksimova, Candidate of Engineering, Professor at the Department of Water Supply and Sanitation, Industrial University of Tyumen, e-mail: maksimovasv@tyuiu.ru

Andrey A. Voronov, Postgraduate at the Department of Water Supply and Sanitation, Industrial University of Tyumen, e-mail: teplooo@mail.ru

Для цитирования: 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.

For citation: 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. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (2), pp. 33-39. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-33-39.