

УДК 665.61330.55:339.98(47:57)

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ВОЛОСКОВ ОКОЛОЦВЕТНИКА ПОЧАТКОВ РОГОЗА ШИРОКОЛИСТНОГО (*ТУРНА LATIFOLIA*)

© О.Г. Горовых^{1*}, Т.А. Глевицкая², Л.Ю. Тычинская², Г.Н. Лысенко²

¹ Институт переподготовки и повышения квалификации ГУО
Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь, д. Светлая Роца, Борисовский р-он,
222515 (Республика Беларусь), e-mail: olgreda@tut.by

² Институт физико-органической химии НАН Беларуси, ул. Сурганова, 13,
Минск, 220072 (Республика Беларусь)

Высшее водное растение рогоз имеет широкий ареал распространения, произрастает почти по всему земному шару и обладает рядом уникальных свойств. К одному из таких свойств относится сорбционные свойства волосков околоцветника початков рогоза. Высокая сорбционная емкость волосков околоцветника початков рогоза труднообъяснима с позиций небольшой удельной поверхности данного материала. Представлены данные, полученные авторами, по характеристике волосков околоцветника початков рогоза широколистного (*Typha latifolia*) как сорбента нефти и нефтепродуктов. Нефтеемкость ВОПР достигает величины 35 г/г, плавучесть в ненасыщенном состоянии превышает 100 дней, время сорбции составляет несколько секунд, степень нефтеотдачи позволяет вернуть не менее 68% поглощенного нефтепродукта. Приведены исследования морфологии поверхности отдельных волосков околоцветника початков рогоза как нагивных образцов, так и образцов после сорбции нефти или гексана с последующим удалением сорбатов. Исследования проводились с использованием метода электронной микроскопии, которые показали, что при воздействии растворителя происходит увеличение поверхности сорбции за счет образования дополнительных поверхностей, возникающих при вскрытии внутренних полостей и расслоении отдельных волосков на ленты. Полученные данные позволяют объяснить выявленную возможность многократной регенерации данного материала, применяемого при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: природные нефтесорбенты, волоски околоцветника початков рогоза широколистного, сорбционная емкость, морфология поверхности.

Введение

Разработка новых эффективных природных сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ЛАРН) является одной из актуальных задач. Последний разлив 20 тыс. тонн дизельного топлива в водоемы и на грунт, произошедший 29 мая 2020 г. на «Норильском никеле», показал, что эффективных технологий и сорбентов для ликвидации разливов в сложившихся условиях нет, так как по прошествии 4 месяцев полная ликвидация ЧС еще не завершена [1]. На ликвидацию последствий ЧС в Таймырском регионе уйдет, по оценкам специалистов, не менее 10 лет. Одно из требований к разрабатываемым новым нефтесорбентам – это обеспечение снижения экологических проблем, которые возникают при нефтяных разливах, этому требованию в большей степени соответствуют сорбенты на основе природных материалов [2]. Существует большое количество различных материалов как природного, так и искусственного происхождения,

Горовых Ольга Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры специальной подготовки, e-mail: olgreda@tut.by

Глевицкая Татьяна Александровна – научный сотрудник лаборатории мембранных процессов, e-mail: hlyavitskaya1706@gmail.com

Тычинская Людмила Юльевна – кандидат химических наук, заведующий лабораторией физико-химических методов исследования, e-mail: olgreda@tut.by

Лысенко Галина Николаевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования, e-mail: olgreda@tut.by

Существует большое количество различных материалов как природного, так и искусственного происхождения,

* Автор, с которым следует вести переписку.

которые предлагаются к использованию для ЛАРН [3]. При этом дешевизна, простота в эксплуатации, возможность регенерации и утилизации являются часто определяющими факторами при выборе того или иного сорбента. Одним из таких эффективных природных сорбентов являются волоски околоцветника початков рогоза (ВОПР) [4].

По словам Б.А. Келлера [5], рогоз относится «к самым обыкновенным, широко распространенным болотным растениям». У рогоза широкий ареал распространения, он произрастает почти по всему земному шару, в том числе в теплых и умеренных областях Евразии, Южной и Северной Америки [6, 7], однако преимущественно в северном полушарии [8]. Рогоз встречается во всех районах европейской части России [9–13], в Украине, на Кавказе [14], в Западной [15, 16] и Восточной Сибири [17], на дальнем Востоке [18, 19], в Средней Азии [20]. Рогоз (*Typha*) – это высшее водное растение, также широко распространенное в Беларуси на озерах гелиофитного типа. Рогоз относится к роду рогозовых и в Беларуси представлен четырьмя видами, два из которых встречаются наиболее часто: рогоз узколистый (*Typha angustifolia*) и рогоз широколистный (*Typha latifolia*) [21].

ВОПР обладают рядом уникальных свойств: значительной сорбционной емкостью, высокой скоростью сорбции, возможностью многократной (более 50 раз) регенерации, длительной плавучестью, а также экологически приемлемой утилизацией.

Плавучесть ВОПР составляет более 100 дней (норма для сорбентов, используемых при ЛАРН, – не менее 100 дней). Природный материал ВОПР является гидрофобным веществом, при нанесении волокон на поверхность как пресной, так и морской воды поглощения воды сорбентом практически не происходит. Для сравнения, плавучесть сорбентов на основе торфа составляет 30 ± 4.9 суток [22].

Сорбент на основе волосков околоцветника початков рогоза широколистного позволяет проводить регенерацию путем отжима, с возвратом до 68% сорбированного углеводорода. Проверенное количество отжимов достигает 50, с незначительной потерей сорбционной емкости (многие природные сорбента, регенерации вообще не подвергаются – например, опилки).

Скорость сорбции сорбента ВОПР широколистного составляет несколько секунд, что меньше, чем у сорбента на основе шелухи гречихи, в 15 раз [23].

Цель исследования: установление взаимосвязи между сорбционной емкостью и морфологией поверхности волосков околоцветника початков рогоза.

Методики исследования

В качестве объектов исследования использовали ВОПР широколистного, собранного на берегах реки Сха, в черте г. Борисова Минской области в начале ноября 2019 г.

Исследовались три вида образцов ВОПР:

- 1 – ВОПР нативные, освобожденные от семян;
- 2 – ВОПР, предварительно выдержанные в гексане, с последующим удалением растворителя;
- 3 – ВОПР, использовавшиеся как адсорбент нефти, с последующим удалением нефти путем отжима на центрифуге и вакуумированием.

Для исследования строения ВОПР использовали металлографический микроскоп МЕТАМ ЛВ-32, а для установления особенностей морфологии ВОПР – растровый сканирующий микроскоп Phenom Pro (Thermo Fisher Scientific, США). Для отвода с ВОПР избыточного заряда на образцы предварительно напыляли слой золота толщиной 10 А, применяя катодный распылитель в вакуумной установке DSR 1 (Nanostructured coatings Co, Иран).

Удельную поверхность образцов ВОПР определяли методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота (метод БЭТ) с использованием анализатора площади поверхности и пористости ASAP 2020 MP фирмы Micromeritics (США). Перед измерениями площади поверхности образцы ВОПР прогревали в вакууме при 100 °С в течение 1 ч.

Определение сорбционной емкости ВОПР вели в следующей последовательности. Перед испытаниями свежесобранный ВОПР выдерживали в течение 7 дней в открытом виде в помещении с температурой 18–20 °С и относительной влажностью $70 \pm 20\%$.

Навеску исследуемого материала – ВОПР – в количестве 4 г размещали в специальное приспособление и помещали в емкость, наполненную углеводородом – нефть или нефтепродукт в количестве 200 см³. Накрывали емкость с углеводородом и навеской ВОПР, находящихся в приспособлении, крышкой. Время

контакта навески ВОПР с углеводородом составляло $15 \text{ мин} \pm 20 \text{ с}$ (в соответствии с [24]). Затем извлекали устройство с порцией ВОПР, удерживающих нефтепродукт из углеводорода, давали стечь углеводороду с приспособления и порции ВОПР в течение $60 \pm 3 \text{ с}$ и определяли массу ВОПР с удерживаемым нефтепродуктом и с устройством.

Массу нефтепродукта $m_{\text{НП}}$, удерживаемого природным материалом – сорбентом ВОПР, в единичном опыте рассчитывали по уравнению (1)

$$m_{\text{НП}} = m_{i(\text{пр}+\text{нпр})} - m_{i\text{ВОПР}} - m_{i\text{нпр}} - m_{i\text{пр}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{НП}}$ – масса удерживаемого НП в i -м опыте, г; $m_{i(\text{пр}+\text{нпр})}$ – масса НП с порцией ВОПР и приспособлением в i -м опыте, г; $m_{i\text{ВОПР}}$ – масса порции ВОПР, взятой на анализ в i -м опыте, г.

Полученное значение массы удерживаемого НП в i -м опыте делили на массу порции ВОПР, взятой на анализ в i -м опыте, получали удерживающую способность материала (сорбционную емкость) CE_i (г сорбата/г сорбента), уравнение (2).

$$CE_i = \frac{m_{\text{НП}}}{m_{i\text{ВОПР}}}, \quad (2)$$

где CE_i – сорбционная емкость сорбента ВОПР, г сорбата/г сорбента; $m_{\text{НП}}$ – масса удерживаемого НП в i -м опыте, г; $m_{i\text{ВОПР}}$ – масса порции ВОПР, взятой на анализ в i -м опыте, г.

Количество испытаний на точку – 10.

Основная часть

Описание сорбента – волосков околоцветника початков рогоза широколистного. Отдельная летучка ВОПР имеет основной стволик, к которому прикреплено семечко в перикарии с отходящими от основного стволика волосками (рис. 1). Масса отдельной летучки (пушинки) рогоза составляет $0.015 \pm 0.001 \text{ мг}$; масса одного семени, прикрепленного к пушинке, – $0.064 \pm 0.001 \text{ мг}$; длина пушинки – примерно 15 мм.

Отдельные летучки рогоза имеют от 30 до 40 волосков, прикрепленных к центральному стволику, причем основное количество волосков сосредоточено у его верхушки (рис. 1). Волоски превышают длину основного стволика примерно в 1.5 раза, средний диаметр волосинок меньше диаметра стволика в 2–4 раза. Волоски не имеют дополнительных ответвлений. Волоски на стволике расположены в очередном порядке.

Основной стволик волоска летучки рогоза имеет в диаметре $38 \pm 5 \text{ мкм}$ (рис. 2). Поверхность волоска и стволика имеет отдельные щелевидные текстурные образования, разделенные перемычками. Ширина щелевидных образований варьирует от 6 до 12 мкм, перемычки между щелевидными образованиями разнообразны по форме: симметрично вогнутые относительно каждого щелевидного образования, прямые, вогнутые в сторону одного из щелевидного образования, имеются выпуклые пирамидальные сочленения между соприкасающимися щелевидными образованиями. Отходящие от стволика летучки волоски в местах ответвления от стволика достигают в диаметре до 33 мкм.

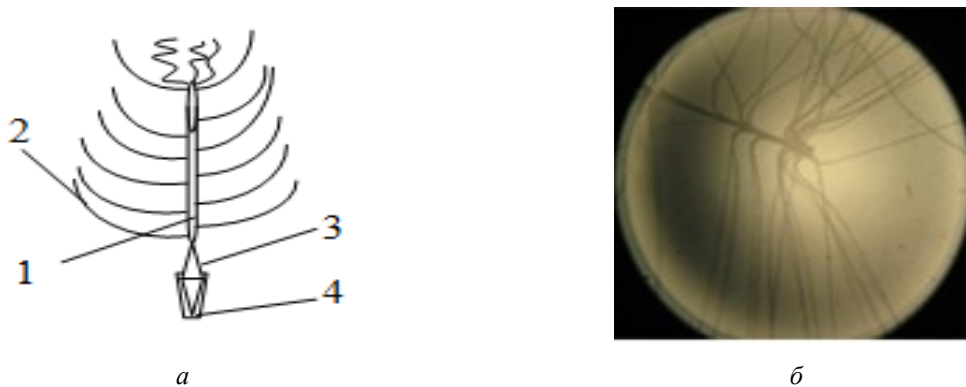


Рис. 1. Строение летучки рогоза (*a* – схема, *б* – фотография). Увеличение $\times 50$; 1 – основной стволик, 2 – отдельные волоски, 3 – семечко, 4 – перикарпий

Между стенками щелевидных образований (рис. 3) можно различить впадину (щель шириной не более 2–3 мкм). Поверхность внутри щелевидных образований имеет нитевидные выпуклости различной формы.

В срезе волоска (рис. 3) четко различаются ступени, образованные при разрыве отдельных лент, соединении которых и формирует волосок.

Образцы ВОПР, подвергнутые воздействию гексана, имеют иное строение (рис. 4). На поверхности волосков появились дополнительные образования (черные трещины на светлом фоне волосков).

Некоторые щелевидные образования изменились из вогнутых в выпуклые. Можно предположить, что обработка гексаном приводит к растворению защитного воскового слоя, нарушению целостности внешней поверхности волосков, образованию пор и открытию внутренних полостей (рис. 5).

На микроскопическом снимке (рис. 6) образца 3 (ВОПР, адсорбировавшие нефть, затем удаленную отжимом) хорошо видны остатки не удаленных компонентов нефти (синяя стрелка), находящиеся в вогнутых щелевидных образованиях.

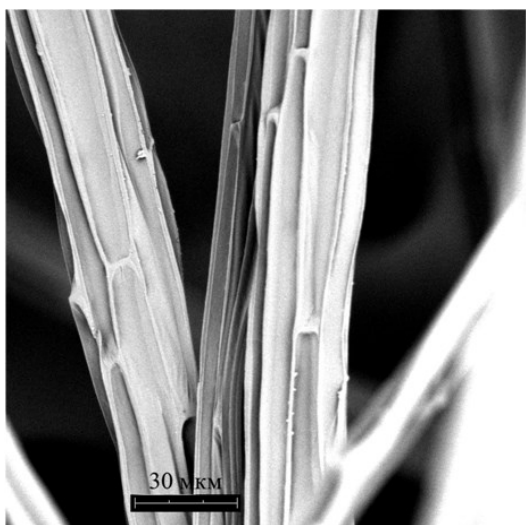


Рис. 2. Микроструктура волосков летучки початка рогоза с золотым напылением. Увеличение $\times 1750$

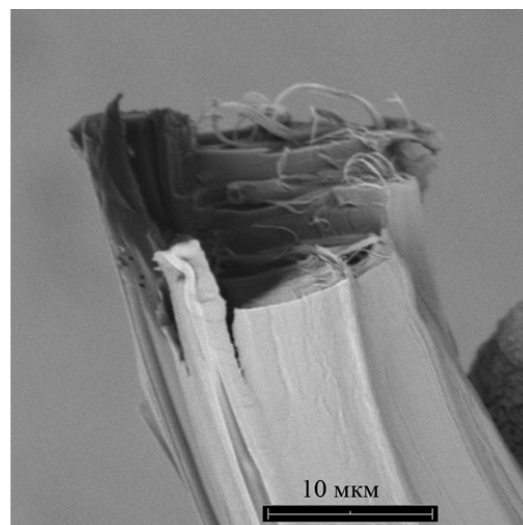


Рис. 3. Морфология нативного волоска околоцветника початка рогоза. Увеличение $\times 6400$

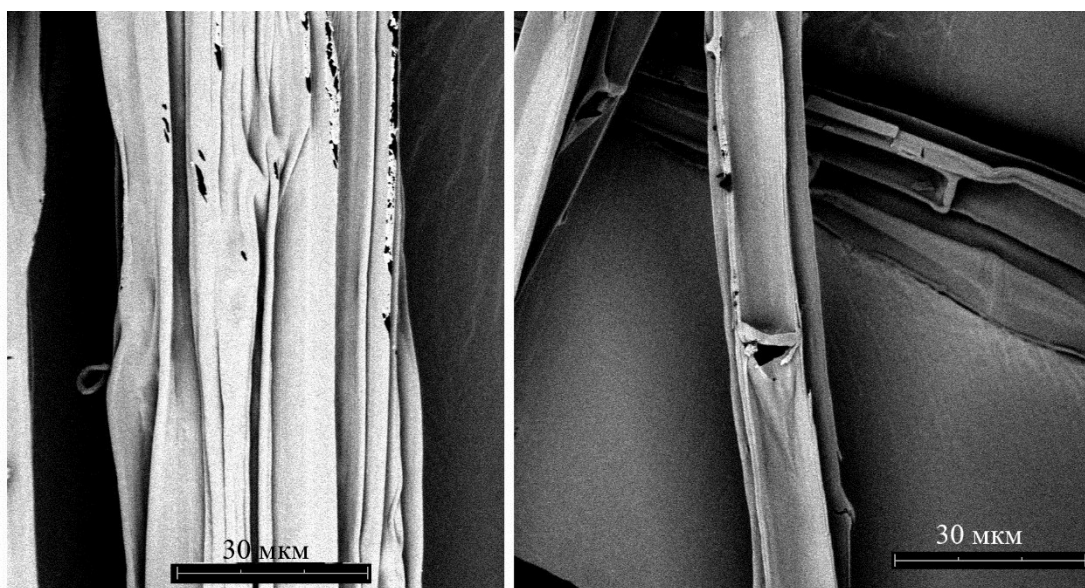


Рис. 4. Морфология поверхности образца ВОПР, обработанного гексаном. Увеличение $\times 2750$

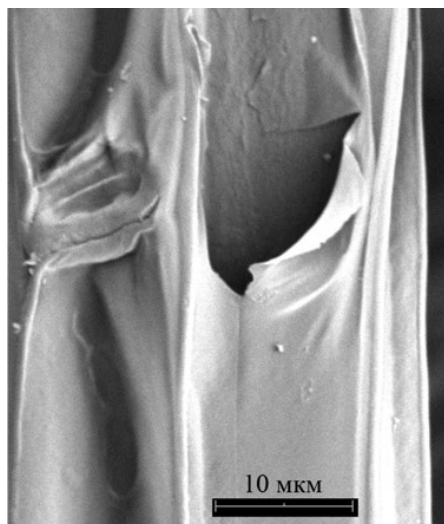


Рис. 5. Отслоение внешней оболочки щелевидного образования с открытием внутренней полости. Увеличение $\times 6500$

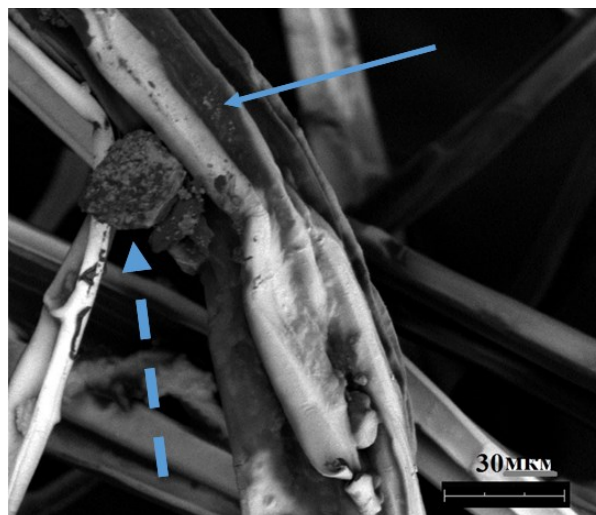


Рис. 6. Микроскопический снимок образца 3. Увеличение $\times 1750$

Часть щелевидных образований (рис. 6) также стала выпуклой, видны образовавшиеся полости (разрывы оболочки), имеют отдельные черные включения, но в основном структура щелевидных образований осталась ненарушенной, четко выраженной, хотя отдельные волоски несколько деформировались, надломались. Часть волосков расщепилась и образовались более тонкие волоски или ленточки (стрелка пунктир). Линии расщепления на ленточки видны на рисунке 3, где выделяются ступени, по которым произойдет расслоение на ленточки. На рисунке 6 видно, что незначительная часть поверхности волосков покрыта остатками нефти (компоненты тяжелых фракций, неорганические включения), остальная поверхность осталась чистой.

Удельная площадь поверхности образца 1 (нативные ВОПР), определенная с использованием анализатора площади поверхности и пористости ASAP 2020 MP (метод БЭТ), составила $9 \text{ м}^2/\text{г}$, образца 2 (после обработки гексаном) – $26 \text{ м}^2/\text{г}$.

Сорбционная емкость ВОПР, представленная в таблице, была определена авторами по описанной методике как с адсорбентом II типа по классификации ГОСТ 33627–2015.

Обсуждение полученных результатов

На основе представленных в таблице результатов сорбционной емкости ВОПР для нефти и отдельных нефтепродуктов можно говорить о том, что полученные значения, достигающие величины 35 г/г (табл.), являются для природных сорбентов значительными. Для сравнения: сорбционная емкость сорбента на основе торфа равна 4 г/г , а шелухи гречихи – от 1.5 до 6 г/г в зависимости от вида сорбата [25].

Сорбционная емкость волосков околоцветника початков рогоза широколистного по отношению к нефти и нефтепродуктам

Наименование нефтепродукта	Сорбционная емкость, г сорбата/г сорбента	Плотность нефтепродукта ρ , кг/м^3 при $15 \text{ }^\circ\text{C}$
Продукт ЕН-590:2009	19.41 ± 0.70	832
Дизельное топливо зимнее	28.72 ± 1.06	828
Нефть	17.68 ± 0.64	823
Нефть	21.77 ± 1.70	881
Керосин КО-20	18.09 ± 0.71	812
Бензин АИ-92 К5 (зимний)	21.19 ± 1.21	736
Нефрас С-4 150/200 (уайт-спирит)	19.17 ± 1.62	812
Масло нейтральное	35.84 ± 1.80	870
Параксиллол	11.88 ± 0.38	863
Толуол	9.41 ± 0.68	871

Удельный расход сорбента и, соответственно, экономичность проведения работ с использованием данного сорбента в значительной степени определяются удельной площадью, зависящей от морфологии поверхности и пористости структуры. Используя классификацию пор М.М. Дубинина [26], установленные по микроскопическим снимкам ВОПР щелевидные образования, имеющие размеры от 5 до 25 мкм, даже не относятся к макропорам. Известно, что сорбция углеводородов нефти происходит преимущественно на поверхности сорбента и, предположительно, в мезопорах [27]. Изучение поверхности ВОПР позволило выявить различные виды рельефа: гладкие участки, ребра, вершины, вогнутые и выпуклые поверхности, ложбины, впадины, причем на каждом из этих видов морфологии нескомпенсированное силовое поле имеет различную интенсивность и, соответственно, адсорбционную способность. Толщина адсорбционного слоя, образующегося в результате взаимодействия молекул адсорбата с поверхностью адсорбента, будет определяться как активностью самой поверхности, так и взаимодействием молекул адсорбата между собой. Возможно удержание сорбата и в объеме самой летучки ВОПР при разрушении внешней оболочки отдельных щелевидных образований и образовании внутренних полостей. Изучение морфологии поверхности позволяет прогнозировать эффективность применения ВОПР тогда, когда воздействующий на него растворитель (нефтепродукт) приводит к увеличению общей поверхности за счет расслоения волосков на ленты и появлению внутренних полостей.

Большинство сорбентов, особенно искусственных, имеют удельную площадь поверхности, достигающую величин 1000 м²/г [28]. Полученные результаты по увеличению удельной площади поверхности ВОПР от 9 м²/г до 26 м²/г (после адсорбции и удаления гексана) позволяют говорить о том, что при обработке волосков как индивидуальным растворителем, так и самой нефтью (гексан – один из компонентов нефти), происходит их расслоение на ленты (как описано выше) и открытие внутренних полостей с соответствующим общим увеличением поверхности.

Вывод

Исходя из морфологии поверхности ВОПР, выявленной при анализе микрофотографий, а также результатов измерения удельной площади поверхности ВОПР нативного образца и после взаимодействия с гексаном, можно заключить, что в процессе поглощения углеводородов происходит увеличение поверхности сорбции, обусловленное растворением защитного воскового слоя и, как следствие, нарушением целостности внешней поверхности волосков: образованием разрывов, открытием внутренних полостей, расслоением отдельных волосков на несколько ленточек, что сказывается как на значительной сорбционной емкости ВОПР, так и на сохранении сорбционной емкости при многократном использовании одной и той же порции сорбента ВОПР.

Список литературы

1. В Норильске увеличили группировку по ликвидации разлива топлива. Сайт «Объединяя усилия». [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/1020051/2020-06-05/v-norilске-увеличили-группировку-по-ликвидации-разлива-топлива>.
2. Чухарева Н.В., Шишмина Л.В. Сравнение сорбционных свойств торфа верхового и низинного типов по отношению к товарной нефти и стабильному газовому конденсату // Химия растительного сырья. 2012. №4. С. 193–200.
3. Будыкина Т.А., Будыкина К.Ю. Перспективные реагенты и комплексы для ликвидации аварийных разливов нефти // Современные материалы, техника и технологии. 2016. №4 (7). С. 21–27.
4. Горových О.Г., Альжанов Б.А. Волоски околоцветника початков рогоза как природный сорбент нефти и нефтепродуктов // Наука и Мир. 2019. №4 (68). С. 51–57.
5. Дикie съедобные растения / под ред. Б.А. Келлера. М., 1941. 41 с.
6. Ciotir C., Kirk H., Row R., Freeland J.R. Intercontinental dispersal of *Typha angustifolia* and *T. latifolia* between Europe and North America has implications for *Typha* invasions // Biol. Invasions. 2013. Vol. 15. Pp. 1377–1390.
7. Wilder G.J. Normal and teratological pistillate spikes of *Typha angustifolia* (Typhaceae): gross aspects of morphology, anatomy, symmetry, and inflorescence dehiscence // Can. J. Bot. 1991. Vol. 69. Pp. 321–334.
8. Порядок рогозовые (Typhales) (Т.Г. Леонова). Жизнь растений / под ред. А.Л. Тахтаджяна. М., 1982. Т. 6. 543 с.
9. Капитонова О.А., Платунова Г.Р., Капитонов В.И. Рогозы Вятско-Камского края: монография. Ижевск, 2012. 190 с.
10. Рогова Т.В., Прохоров В.Е., Фардеева М.Б. и др. Атлас сосудистых растений Татарстана. Казань, 2008. 304 с.
11. Мавродиев Е.В., Капитонова О.А. Таксономический состав рогозовых (Typhaceae) флоры европейской части России // Новости сист. высш. раст. 2015. Т. 46. С. 5–24.

12. Краснова А.Н., Польшина Т.Н. Гибриды и аномалии рогозов (*Typha L.*, Typhaceae) юга Европейской России // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2016. №2 (82). С. 118–122.
13. Дюкина (Платунова) Г.Р., Капитонова О.А. Рогозы как синантропный компонент флоры // Адвентивная и синантропная флора России и сопредельных стран: состояние и перспективы: материалы III Международной научной конференции. Ижевск, 2006. С. 41–42.
14. Барсебян А.М. Водно-болотная растительность Армянской ССР. Ереван, 1990. 353 с.
15. Капитонова О.А., Кузьмин И.В. О двух новых для Сибири таксонах рода *Typha L.* (Typhaceae) // Turczaninowia. 2017. №4. С. 26–30.
16. Капитонова О.А. Новые находки рогозов (*Typha L.*) в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №12 (54). С. 28–31.
17. Комаров В.Л. Род *Typha L.* (Тр. Петербург. ботан. сада; т. 1) // Флора Маньчжурии. СПб., 1901. С. 559.
18. Ворошилов В.Н. *Typha L.* // Определитель растений советского Дальнего Востока. М., 1982. С. 36.
19. Цвелёв Н.Н. Typhoideae // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. СПб., 1996. Т. 8. С. 355–357.
20. Абдувохидов А.Т., Кароматов И.Д. Рогоз узколистный – применение в народной медицине и перспективы применения в научной медицине // Биология и интегративная медицина. 2017. №6. С. 129–134.
21. Гигевич Г.С., Власов Б.П., Вынаев Г.В. Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. Минск, 2001. 230 с.
22. Коновалова Е.А., Лазыкин А.Г., Гаврилов К.Е. Сравнительная характеристика сорбентов, используемых в составе биопрепаратов для очистки почвы от нефтезагрязнений // Наука вчера, сегодня, завтра: сборник статей по материалам XXXIV международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2016. С. 6–17.
23. Горовых О.Г., Саевич К.Ф., Альжанов Б.А. Использование волосков околоцветника початков рогоза для очистки водных объектов от нефтяных загрязнений // Труды БГТУ, серия 2, «Химические технологии и геоэкология». 2019. №2 (223). С. 183–192.
24. ГОСТ 33627-2015. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. Минск, 2017. 11 с.
25. Патент №2259874 (РФ). Сорбент для удаления нефти и нефтепродуктов и способ его получения из шелухи гречихи / И.Г. Гафаров, М.Т. Мухамедзянов, Ю.И. Расторгуев, В.С. Тимофеев, О.Н. Тёмкин. – 10.09.2005.
26. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Пер. с англ. 2- изд. М. Мир, 1984. 306 с.
27. Испирян С.Р. Физико-химические основы сорбционного взаимодействия природных материалов с углеводородами // Вестник ТГТУ. 2007. Вып. 10. С. 201–204.
28. Иванец М.Г., Невар Т.Н., Савицкая Т.А., Гриншпан Д.Д. Морфология поверхности и пористая структура углеродных сорбентов. Минск, 2009. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/21549>.

Поступила в редакцию 22 октября 2021 г.

После переработки 14 декабря 2021 г.

Принята к публикации 1 февраля 2022 г.

Для цитирования: Горовых О.Г., Глевицкая Т.А., Тычинская Л.Ю., Лысенко Г.Н. Морфология поверхности и сорбционные свойства волосков околоцветника початков рогоза широколистного (*Typha latifolia*) // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 333–341. DOI: 10.14258/jcrpm.2022028751.

Gorovykh O.G.^{1*}, Glevitskaya T.A.², Tychinskaya L.Yu.², Lysenko G.N.² SURFACE MORPHOLOGY AND SORPTION PROPERTIES OF THE FUZZ PERFUME OF THE TYPHA BROADLEAF OF THE COBS (*TYPHA LATIFOLIA*)

¹ Institute for Retraining and Advanced Training of the State Educational Institution of the Civil Protection University of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Svetlaya Roshcha, Borisovsky district, 222515 (Republic of Belarus), e-mail: olgreda@tut.by

² Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, ul. Surganova, 13, Minsk, 220072 (Republic of Belarus)

The higher aquatic plant cattails has a wide distribution area, grows almost all over the world and has a number of unique properties. One of these properties is the sorption properties of perianth the fuzz of cattail cobs. The high sorption capacity of the perianth the fuzz of the cattail cobs is difficult to explain from the standpoint of the small specific surface area of this material. The data obtained by the authors a presented on the characteristics of the perianth the fuzz of *Typha latifolia* cobs as a sorbent of oil and oil products. The oil capacity of VOPR reaches 35 g / g, the buoyancy in the unsaturated state exceeds 100 days, the sorption time is several seconds, the degree of oil recovery makes it possible to return at least 68% of the absorbed oil product. Investigations of the surface morphology of individual the fuzz of the perianth of the cobs of cattail, both native samples and samples after sorption of oil or hexane with subsequent removal of sorbates, a presented. The studies were carried out using the method of electron microscopy, which showed that when exposed to a solvent, the sorption surface increases due to the formation of additional surfaces that arise when the internal cavities are opened and individual the fuzz are separated into ribbons. The data obtained make it possible to explain the revealed possibility of multiple regeneration of this material used in emergency response.

Keywords: natural oil sorbents, perianth the fuzz of broadleaf cattail cobs, sorption capacity, surface morphology.

References

1. *V Noril'ske uvelichili gruppirovku po likvidatsii razliva topliva. Sayt «Ob'yedinyaya usiliya»*. [In Norilsk, the fuel spill response team has been increased. Joining Forces website]. URL: <https://iz.ru/1020051/2020-06-05/v-noril'ske-uvelichili-gruppirovku-po-likvidatsii-razliva-topлива>. (in Russ.).
2. Chukhareva N.V., Shishmina L.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 4, pp. 193–200. (in Russ.).
3. Budykina T.A., Budykina K.Yu. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 4 (7), pp. 21–27. (in Russ.).
4. Gorovykh O.G., Al'zhanov B.A. *Nauka i Mir*, 2019, no. 4 (68), pp. 51–57. (in Russ.).
5. *Dikiye s'yedobnyye rasteniya* [Wild edible plants], ed. B.A. Keller. Moscow, 1941, 41 p. (in Russ.).
6. Ciotir C., Kirk H., Row R., Freeland J.R. *Biol. Invasions*, 2013, vol. 15, pp. 1377–1390.
7. Wilder G.J. *Can. J. Bot.*, 1991, vol. 69, pp. 321–334.
8. *Poryadok rogozovyye (Typhales) (T.G. Leonova). Zhizn' rasteniy* [Order cattails (Typhales) (T.G. Leonova). Plant life], ed. A.L. Takhtadzhyan. Moscow, 1982, vol. 6, 543 p. (in Russ.).
9. Kapitonova O.A., Platonova G.R., Kapitonov V.I. *Rogozy Vyatsko-Kamskogo kraya: monografiya*. [Cattails of the Vyatka-Kama region: monograph]. Izhevsk, 2012, 190 p. (in Russ.).
10. Rogova T.V., Prokhorov V.Ye., Fardeyeva M.B. i dr. *Atlas sosudistyykh rasteniy Tatarstana*. [Atlas of vascular plants of Tatarstan]. Kazan', 2008, 304 p. (in Russ.).
11. Mavrodiyev Ye.V., Kapitonova O.A. *Novosti sist. vyssh. rast.*, 2015, vol. 46, pp. 5–24. (in Russ.).
12. Krasnova A.N., Pol'shina T.N. *Prirodnyye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2016, no. 2 (82), pp. 118–122. (in Russ.).
13. Dyukina (Platonova) G.R., Kapitonova O.A. *Adventivnaya i si-nantropnaya flora Rossii i sopredel'nykh stran: sos-toyaniye i perspektivy: Materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. [Adventive and synanthropic flora of Russia and neighboring countries: status and prospects: Proceedings of the III International Scientific Conference]. Izhevsk, 2006, pp. 41–42. (in Russ.).
14. Barsegyan A.M. *Vodno-bolotnaya rastitel'nost' Armyanskoy SSR*. [Wetland vegetation of the Armenian SSR]. Yerevan, 1990, 353 p. (in Russ.).
15. Kapitonova O.A., Kuz'min I.V. *Turczaninowia*, 2017, no. 4, pp. 26–30. (in Russ.).
16. Kapitonova O.A. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, no. 12 (54), pp. 28–31. (in Russ.).
17. Komarov V.L. *Flora Man'chzhurii*. [Flora of Manchuria]. St. Petersburg, 1901, p. 559. (in Russ.).
18. Voroshilov V.N. *Opredelitel' rasteniy sovetskogo Dal'nego Vostoka*. [Key to plants of the Soviet Far East]. Moscow, 1982, p. 36. (in Russ.).
19. Tselov N.N. *Sosudistyye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka*. [Vascular plants of the Soviet Far East]. St. Petersburg, 1996, vol. 8, pp. 355–357. (in Russ.).
20. Abduvokhidov A.T., Karomatov I.D. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, 2017, no. 6, pp. 129–134. (in Russ.).
21. Gigevich G.S., Vlasov B.P., Vynayev G.V. *Vysshieye vodnyye rasteniya Belarusi: ekologo-biologicheskaya kharakteristika, ispol'zovaniye i okhrana*. [Higher aquatic plants of Belarus: ecological and biological characteristics, use and protection]. Minsk, 2001, 230 p. (in Russ.).
22. Konovalova Ye.A., Lazykin A.G., Gavrilov K.Ye. *Nauka vchera, segodnya, zavtra: sbornik statey po materialam XXXIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Science yesterday, today, tomorrow: collection of articles based on the materials of the XXXIV international scientific and practical conference]. Novosibirsk, 2016, pp. 6–17. (in Russ.).
23. Gorovykh O.G., Sayevich K.F., Al'zhanov B.A. *Trudy BGTU, seriya 2, «Khimicheskiye tekhnologii i geoekologiya»*, 2019, no. 2 (223), pp. 183–192. (in Russ.).

* Corresponding author.

24. GOST 33627-2015. *Ugol' aktivirovannyi. Standartnyy metod opredeleniya sorbtionnykh kharakteristik ad-sorbentov.* [GOST 33627-2015. Activated charcoal. Standard method for determining the sorption characteristics of adsorbents]. Minsk, 2017, 11 p. (in Russ.).
25. Patent 2259874 (RU). 10.09.2005. (in Russ.).
26. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost'.* [Adsorption, surface area, porosity]. Moscow, 1984, 306 p. (in Russ.).
27. Ispiryani S.R. *Vestnik TGTU*, 2007, vol. 10, pp. 201–204. (in Russ.).
28. Ivanets M.G., Nevar T.N., Savitskaya T.A., Grinshpan D.D. *Morfologiya poverkhnosti i poristaya struktura ug-lerodnykh sorbentov.* [Surface morphology and porous structure of carbon sorbents]. Minsk, 2009. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/21549>. (in Russ.).

Received October 22, 2021

Revised December 14, 2021

Accepted February 1, 2022

For citing: Gorovykh O.G., Glevitskaya T.A., Tychinskaya L.Yu., Lysenko G.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 333–341. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2022028751.

