

DOI 10.15593/2409-5125/2019.02.06

УДК 661.183 + 628.316.12:665.7

**В.А. Голяткина, И.В. Могилевская, О.В. Колотова,  
Т.Е. Яшкина, Е.А. Карасев, И.А. Голяткин**

Волгоградский государственный технический университет

## **РАЗРАБОТКА БИОСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ КАРБОНИЗАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Проведен анализ научной и научно-технической литературы, рассмотрен характер поведения загрязнений-нефтепродуктов в водной среде и почве. Проанализированы самые распространенные носители для биосорбентов, а также проведено сравнение их свойств со свойствами карбонизата, что позволило сделать вывод о возможности его использования в качестве матрицы для микроорганизмов. В ходе исследований была отработана методика получения карбонизата путем низкотемпературного пиролиза при 500 °С избыточного активного ила очистных сооружений г. Волгограда. Для полученного носителя для иммобилизации определен оптимальный размер фракции, который составил 0,6–1,0 мм. Подобрана методика иммобилизации микроорганизмов путем перемешивания суспензии с сорбентом в течение 1 ч, и определена степень прикрепления бактериального штамма ВГТУ-02 с липолитической и нефтеокисляющей активностью из рабочей коллекции музейных культур кафедры Промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Волгоградского государственного технического университета. Отработана технология получения биосорбента, которая включает в себя две стадии: получение носителя с оптимальными свойствами и иммобилизация микроорганизмов на исследуемом сорбенте. Также определена степень очистки модельной жидкости от нефтезагрязнения, которая составила 98 %. Проведена сравнительная оценка уже используемых биосорбентов с исследуемым образцом на основе карбонизата с иммобилизованным на нем бактериальном штамме ВГТУ-02. Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод о том, что данный биосорбент на основе карбонизата из избыточного активного ила может быть использован для удаления поллютантов из загрязненных нефтью и продуктами их переработки почв и вод.

**Ключевые слова:** нефть, нефтезагрязнения, биосорбенты, бактериальные штаммы, ИАИ, карбонизат, иммобилизация.

Наземные объекты нефтедобычи и переработки нефти в товарные продукты в силу технологических особенностей и производственной спе-

---

Разработка биосорбента на основе карбонизата для очистки природных и сточных вод от нефтезагрязнений / В.А. Голяткина, И.В. Могилевская, О. В. Колотова, Т.Е. Яшкина, Е.А. Карасев, И.А. Голяткин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 2. – С. 69–80. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.06

Golyatkina V.A., Mogilevskaya I.V., Kolotova O.V., Yashkina T.E., Karasev E.A., Golyatkin I.A. Development of a Biosorbent Based on Carbonated Coal for Purifying Natural and Waste Water from Oil Pollution. PNRPU. Applied Ecology. Urban Development. 2019. No. 2. Pp. 69-80. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.06

цифики являются антропогенными источниками загрязнения окружающей среды. К таким объектам относятся транспортные магистральные трубопроводы, предприятия нефтепромысла и нефтепереработки, нефтебазы, заправочные станции. На всех приведенных объектах возможно возникновение различных аварий, число которых ежегодно достигает порядка 25 тыс. инцидентов [1, 2].

Нефть, несмотря на большую вязкость, проникает в почву, а затем и в грунтовые воды, по которым может распространяться на большие расстояния. На поверхности воды гидрофобная нефть образует тонкую пленку, которая подвергается химическим, физическим, механическим и биохимическим процессам: растворению, испарению, эмульгированию, биодegradации, окислению и седиментации. Эта пленка частично препятствует газообмену между воздухом и водой, что приводит к гибели живых организмов. Некоторые растворимые в воде окисленные компоненты нефти обладают и прямым токсическим действием [3].

Различают два основных микробиологических подхода к очистке от нефтезагрязнений:

- методы, основанные на активизации жизнедеятельности естественной микрофлоры окружающей среды;
- методы, основанные на внесении в зону загрязнений дополнительных микробиологических объектов к уже имеющимся естественным микроорганизмам [4].

При введении штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов в загрязненную среду наблюдается ускорение микробного разложения нефти, но для этого необходимо обогащать эту среду питательными элементами, главным образом фосфором и азотом. В связи с тем, что нефть имеет многокомпонентный состав, возникают трудности в подборе микробиологических рецептур для более эффективного устранения нефтяного загрязнения [1].

С целью увеличения эффективности сорбционных материалов углевodородоокисляющие микроорганизмы закрепляют на пористой поверхности углеродной матрицы, в результате чего получают биосорбенты. Углевodородоокисляющие микроорганизмы – микроорганизмы, способные ассимилировать углерод путем биохимической трансформации токсичных углевodородов в экологически безвредные соединения, не представляющие опасности для окружающей среды [4]. Преимущество биосорбентов по сравнению со свободными микроорганизмами заключается в том, что наблюдается более высокая выживаемость клеток микроорганизмов при контакте с загрязнением и при хранении. Носитель обеспечивает благоприятное микроокружение клеткам и служит своеобразным протектором.

Биосорбенты благодаря наличию носителя обладают двойным действием: поглощают загрязнения и одновременно осуществляют его биологическую деструкцию. Носители повышают плавучесть биосорбента для увеличения времени его контакта с нефтяной пленкой [5].

Материал, на котором иммобилизуют микроорганизмы, может быть гранулированным, порошкообразным, волокнистым и тканевым. Среди органических носителей наибольшее распространение получила сосновая кора, природный торф и его различные модификации, модифицированный мох, опилки, древесные стружки. Среди неорганических веществ используют керамику, вспученный перлит, каолин, вспененный графит, глинистый минерал вермикулит и т.д. [3].

Использование нефтяных биосорбентов аналогично применению других сорбентов. При очистке от нефтяных загрязнений с поверхности воды прежде всего локализуют разлившуюся нефть бонами. Затем на загрязненный участок наносят носитель с прикрепленными микроорганизмами любым механическим или ручным способом. Распыление препаратов с судов ограничивается погодными условиями. Применение биосорбентов с помощью авиации позволяет начинать ликвидацию аварии при ветре до 25 м/с, т.е. непосредственно после разлива даже в штормовых условиях. Ожидают полного поглощения загрязнения и образования плавучего конгломерата. Затем стягивают боновое загрязнение, собирая отработанный биосорбент вблизи места, удобного для сбора [6].

Потенциальным потребителем таких биопрепаратов могут являться нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия, предприятия промышленной отрасли, нефтеналивные и заправочные станции, автотранспортные предприятия, подразделения МЧС, станции технического обслуживания, предприятия по транспортировке нефти и нефтепродуктов и др. [4].

Самым распространенным материалом для носителя иммобилизованных микроорганизмов является торф. Способ получения биосорбента на основе торфа включает в себя иммобилизацию на нефтяном гидрофобном сорбенте дрожжевых грибов *Candida lipolytica*, *Candida guilliermobdii* и бактерий *Rhodococcus erythropolis*, *Arthrobacter sp.* в количестве от 10 до 50 % (по сухому весу) с последующей сушкой на воздухе [7]. Под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов происходит утилизация нефти. В ходе лабораторных опытов было выявлено, что через две недели опыта бактерии и дрожжевые грибы способствовали деструкции нефти. При использовании *Candida lipolytica* снижение загрязнения произошло на 31,5 %, при использовании *Candida guilliermobdii* – на 30 %, на 35 % – при использова-

нии культуры бактерий *Rhodococcus erythropolis* и на 33 % при использовании *Arthrobacter sp.* [8].

В качестве носителя могут выступать и глины. Использование в качестве носителя глины и выбранного штамма позволяет получить сорбент, способный локализовать разлив за счет активно связываемых нефтяных загрязнений (благодаря носителю) и активно утилизировать загрязнение (благодаря иммобилизованным микроорганизмам). Глина, попадая на поверхность воды, растекается, вместе со шламом обогащения бурого угля – наполнителем для штамма *Pseudomonas fluorescens* ВКГ РСАМ00538. Кроме того, глина обесцвечивает воду, удаляет нефтяные примеси, особо токсичные хлорорганические соединения, различные ПАВ и органические соединения [9].

На нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях внедряются системы термического обезвреживания избыточного активного ила, в результате чего образуется до 7–8 % (от исходной массы отхода) макропористого материала – карбонизата [10]. Использование продукта, полученного из избыточного активного ила, в качестве биосорбента, применяемого для ликвидации нефтяного загрязнения, позволит сократить объемы складироваемых в окружающей среде отходов и наиболее полно использовать их ресурсный потенциал [11]. Физические характеристики карбонизата представлены в таблице [12]. Они уступают некоторым углеродным сорбентам, но достаточны для использования в качестве носителя для закрепления микроорганизмов на пористой поверхности, о чем свидетельствует значительное количество макропор, характеризующихся размерами, сопоставимыми с размерами клеток микроорганизмов, иммобилизованных на носителе [12].

Показатель	Значение
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	385
Механическая прочность на истирание, %	50
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> в 1 г	39,3 ± 0,6
Пористость (объем пор) общая, см <sup>3</sup> /г	0,6
Пористость (объем пор) макропоры, см <sup>3</sup> /г	0,55
Влагоемкость, см <sup>3</sup> /г	0,6

Первым этапом эксперимента было получение карбонизата из избыточного активного ила (ИАИ) согласно литературным данным [13]. Для этого можно воспользоваться процессом пиролиза ИАИ, влажность которого составляет 82–85 %. Сначала ИАИ высушивают при 100–109 °С до установления постоянной массы навески. Высушивание ИАИ (навески

массой по 10 г каждая) до постоянного веса проводили в течение 5 ч при 100 °С в сушильном шкафу ШС-80-01. Затем высушенный ИАИ подвергали низкотемпературному пиролизу при 500 °С около 20–30 мин в муфельной печи (модель РТ-200), в результате чего получили карбонизат массой от 7 до 8 % от исходной навески без дополнительной обработки реагентом [13] (данная стадия применима в основном в промышленных масштабах). Общая начальная масса ИАИ составила 180,825 г, масса полученного карбонизата ( $12,667 \pm 2,432$ ) г (7 % от исходного веса). Процесс низкотемпературного пиролиза проводили в муфельной печи при условиях, описанных выше. Продукт, полученный в результате низкотемпературного пиролиза, измельчали, после классифицировали на фракции с помощью вибросит. Измельченные фракции стерилизовали в сухожаровом шкафу при температуре 160 °С в течение 1 ч. Распределение по фракциям полученного карбонизата представлено в табл. 1.

Таблица 1

## Полученные фракции карбонизата

Обозначение фракции	Размер частиц, мм	Масса карбонизата, г
$\Phi_1$	> 1,0	$1,365 \pm 0,235$
$\Phi_2$	1,0–0,6	$2,765 \pm 0,201$
$\Phi_3$	< 0,6	$8,150 \pm 0,326$

На следующем этапе эксперимента осуществляли прикрепление выбранного микроорганизма-нефтедеструктора к полученному носителю и определяли эффективность иммобилизации штамма ВГТУ-02. Данный штамм был выделен из донных отложений Северного Каспия на селективной среде для липолитических микроорганизмов, в ходе серии экспериментов у данного штамма была выявлена способность потреблять сырую нефть и дизельное топливо в качестве единственного источника углерода [14], поэтому штамм ВГТУ-02 и использовали в данной серии экспериментов для прикрепления на полученный сорбент.

Иммобилизацию микроорганизмов на исследуемый носитель осуществляли методом статической адсорбции путем перемешивания 30 мл взвеси микроорганизмов, приготовленной по стандарту мутности на 10 ед. в фосфатном буфере (рН = 7), и 1 г носителя на магнитной мешалке при скорости 100 об/мин и температуре 30 °С [15]. Для приготовления микробной взвеси использовали суточную культуру микроорганизмов, выращенных на скошенном агаре. Исходную концентрацию микроорганизмов во взвеси определяли высевом на чашки Петри с МПА. По истечении

времени перемешивания производили отстаивание для осаждения частиц носителя и высев надосадочной культуральной жидкости на МПА для определения остаточной концентрации микроорганизмов в суспензии. Количество иммобилизованных бактериальных клеток, в % от исходного, определяли по формуле

$$K_{\text{и}} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{исх}}} 100 \%,$$

где  $C_{\text{исх}}$  – исходная концентрация бактериальной суспензии;  $C_{\text{кон}}$  – остаточная концентрация бактериальной суспензии.

Результаты серии экспериментов на разных фракциях исследуемого сорбента представлены в таблице.

Размер фракции, мм	$\Phi_1 > 1$	$\Phi_2 1 > \Phi_2 > 0,6$ мм	$\Phi_3 < 0,6$ мм
Эффективность иммобилизации, %	$98,05 \pm 2,845$	$93,2 \pm 4,808$	$92,7 \pm 6,47$

Анализируя полученные данные, сделали вывод о том, что для иммобилизации можно рекомендовать использовать фракцию карбонизата размером 1,0–0,6 мм. Частицы меньшего размера имеют пылевую структуру, с ними сложнее работать, они имеют меньший процент иммобилизации [10], и их легче подвернуть утилизации после низкотемпературного пиролиза. Частицы большего размера имеют больший процент иммобилизации, однако частицы размером 1,0–0,6 мм лучше держатся на поверхности загрязненной модельной водной системы, что обеспечивает большее время контакта с загрязнителем с плотностью меньшей, чем плотность сточной воды. Частицы карбонизата большего размера можно использовать для приготовления биосорбента для очистки почв от нефтезагрязнений.

В ходе эксперимента была определена степень очистки модельной жидкости от нефтезагрязнения. С целью оценки эффективности применения разработанного биосорбента на основе карбонизата для очистки модельных сред от нефти исходное и конечное содержание нефтепродуктов в средах определяли флуориметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.128–98) на анализаторе жидкости «Флюорат-02-2М».

Для проведения эксперимента в три флакона внесли 2,4 мл нефти (2 % об.) и 120 мл питательной среды. Флакон № 1 сделали контрольным, он содержал в себе лишь питательную среду и нефть. Во флакон № 2 к модельной нефтезагрязненной жидкости внесли 4 г сорбента. В качестве сорбента выступал карбонизат, который получили в результате низкотем-

пературного пиролиза, без прикрепленного бактериального штамма ВГТУ-02. Во флакон № 3 добавили 4 г свежеприготовленного биосорбента. Во флакон № 4 внесли только суточную культуру бактериального штамма ВГТУ-02 с концентрацией  $1 \cdot 10^8$  кл/мл.

Флаконы с модельными системами культивировали в течение 10 сут, что обусловлено предыдущими исследованиями и особенностями динамики роста применяемых бактериальных культур, при 30 °С в термостате [15], для улучшения контакта сорбента и биосорбента с загрязнителем дополнительно использовали перемешивание с помощью магнитной мешалки. После отстаивания осуществлялся визуальный контроль, флаконы № 2, № 3 и № 4 сравнивали с флаконом № 1. Отмечено, что во флаконе № 2 жидкость была практически прозрачная, с тонкой нефтяной пленкой на поверхности. Во флаконе № 3 нефтяная пленка практически отсутствовала, наблюдалось помутнение, что связано с ростом микроорганизмов на прикрепленной к носителю культуре. Во флаконе № 4 отмечено постепенное увеличение мутности модельной жидкости, связанное с увеличением концентрации штамма ВГТУ-02, и нарастание степени эмульгирования нефтяной пленки.

Результаты проведенного исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные и расчетные данные по эффективности процесса очистки модельных растворов от нефти

№ п/п	Состав модельного раствора	Исходная концентрация нефти $\pm \Delta$ , г/дм <sup>3</sup>	Конечная концентрация нефти $\pm \Delta$ , г/дм <sup>3</sup>	Степень очистки от нефти, %
1	Минеральная питательная среда, нефть	22 092 $\pm$ 5523	22 092 $\pm$ 5523	–
2	Минеральная питательная среда, нефть, сорбент	22 092 $\pm$ 5523	4092 $\pm$ 1023	81,47
3	Минеральная питательная среда, нефть, биосорбент	22 092 $\pm$ 5523	339 $\pm$ 85	98,46
4	Минеральная питательная среда, нефть, суспензия ВГТУ-02	22 092 $\pm$ 5523	6818 $\pm$ 1703	69,14

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что при культивировании в течение 10 сут степень очистки от нефти модельного раствора сорбентом, приготовленным из карбонизата, составила 81,47 %. При тех же условиях степень очистки от нефти при использовании биосорбента составила 98,46 %. Анализ полученных данных показывает, что при очистке вод и почв от нефтезагрязнений эффективнее использовать биосорбент.

Для оценки полученных данных была изучена информация про используемым биопрепаратам с применением сорбентов для очистки от нефтезагрязнений (табл. 3) [16, 17].

Таблица 3

Сравнение эффективности очистки биосорбентов «Биосорбонафт», «Унисорб-био» и биосорбента на основе карбонизата

Показатель	«Биосорбонафт»	«Унисорб-био»	Биосорбент на основе карбонизата
Общая характеристика	Состоит из экологически чистого гидрофобного торфоминерального нефтяного сорбента («Сорбонафт») и стабилизированной водномасляной эмульсии микроорганизмов-нефтедеструкторов, нанесенной методом-распыления	Вспененный особым способом карбамид (мочевина), что является само по себе минеральным удобрением почв	Бактериальные штаммы, ВГТУ-02, находящиеся в коллекции музейных культур кафедры ПЭБЖ, иммобилизованные на карбонизате
Степень очистки	80–95 %	65–80 %	98–99 %
Токсичность	Нет	Нет	Нет
Применение	Для сбора и утилизации нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и почвы	Сбор и биоразложение нефтепродуктов в природе (вода, почва, грунт)	Предназначен для утилизации нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и почвы

Таким образом, в ходе проведенных исследований было определено, что карбонизат из отходов избыточного активного ила с размером фракции 0,6–1,0 мм не уступает уже имеющимся аналогам по степени очистки и может быть использован для очистки от нефтезагрязнений природных и сточных вод. Степень очистки модельной системы от нефти с помощью полученного карбонизата из ИАИ составила 98,46 % в течение 10 сут, что не уступает аналогичным продуктам. Использование карбонизата активного ила в качестве биосорбента, применяемого для ликвидации нефтяного загрязнения, позволит не только улучшить качество очищаемой воды, но и сократить объемы избыточного активного ила, подлежащего захоронению, что существенно снизит экологическую нагрузку на объекты гидросферы и литосферы.

**Библиографический список**

1. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 163 с.
2. Greenpeace: сайт. – URL: <https://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/oil-spills-may-18.pdf> (дата обращения: 21.08.2018).
3. Вылкован А.И., Венцолис Л.С. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти: науч.-практ. пособие. – СПб.: Центр-Техинформ, 2009. – 309 с.
4. Жданова Е.С., Рудакова Л.В. Обоснование возможности получения биосорбентов для ликвидации нефтяных загрязнений природных объектов // Вестник Пермского государственного технического университета. Урбанистика. – 2011. – № 3. – С. 97–107.
5. Прикладная экобиотехнология: учеб. пособие: в 2 т. Т. 1 / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова, С.В. Лушников, М. Энгельхарт, Т. Вайссер, М.В. Чеботаева. – 3-е изд. – М.: Бином, 2015. – 626 с.
6. Перспективы применения биосорбентов для очистки водоемов при ликвидации аварийных разливов нефти / Е.А. Артох, А.С. Мазур, Т.В. Украинцев, Л.В. Костюк // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2014. – № 26. – С. 58–66.
7. Пат. 2214859 Российская Федерация, МПК С1В01J20/24. Способ получения гидрофобного сорбента / О.М. Гридин, А.О. Гридин, В.Ю. Муратов, Е.В. Муратов; заявитель и патентообладатель О.М. Гридин, А.О. Гридин, В.Ю. Муратов, Е.В. Муратов. – № 2002124160/12; заявл. 11.09.2002; опубл. 27.10.2003. – Бюл. № 30.
8. Пат. 2318736 Российская Федерация, МПК С2С02F 3/34. Биосорбент для очистки водоемов от нефтепродуктов на основе штаммов бактерий и дрожжевых грибов / Ф.М. Хабибулина, И.Б. Арченгова, А.А. Шубаков, И.Э. Шарапова, Г.Г. Романов, И.Ю. Чернов, А.И. Таскаев, Г.М. Тулянкин, Ю.С. Жульчихин, А.Н. Козьминых; заявитель и патентообладатель Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. – № 200104082/13; заявл. 10.02.2006; опубл. 10.03.2008. – Бюл. № 7.
9. Пат. 25299771 Российская Федерация, МПК С1С02F 3/34. Биосорбент для ликвидации нефти с поверхности водоемов / Н.А. Галкина, Е.А. Галкин, И.В. Катаева, В.Н. Шафран, А.А. Назаренко, К.А. Вяткин, М.В. Мальцева, Е.А. Ковальчук, Т.А. Кузнецова; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Уралэлектроресурс» – № 2013118363/10; заявл. 10.04.2013; опубл. 27.09.2017. – Бюл. № 27.
10. Рудакова Л.В., Белик Е.С. Обоснование возможности использования карбонизата избыточного активного ила в качестве биосорбента, применяемого в технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв // Теоретическая и прикладная экология. – 2013. – № 1. – С. 22–26.
11. Белик Е.С. Получение нефтяного биосорбента на основе карбонизата – отхода пиролиза избыточного активного ила // Вестник технологического университета. – 2017. – № 14. – С. 120–124.
12. Белик Е.С. Интенсификация процесса биоремедиации нефтезагрязненных почв путем применения биосорбента на основе карбонизата избыточного активного ила: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2014. – 18 с.
13. Экологически безопасный способ утилизации осадков сточных вод биохимических очистных сооружений с получением углеродсодержащих сорбционных материалов / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, М.С. Дьяков, М.Б. Ходяшев // Вода: химия и экология. – 2011. – № 3. – С. 14–24.
14. Шмелева Е.О., Соколова И.В., Сиденко Д.А. Изучение активности нефтеокисляющих штаммов, выделенных из объектов окружающей среды, для получения биопрепарата для очистки производственных сточных вод [Электронный ресурс] // Научные труды Кубанского гос. технол. унта (Научные труды КубГТУ): электрон. сетевой политемат. журнал. – 2017. – № 7. – С. 56–62. – URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1770> (дата обращения: 19.11.2018).
15. Разработка биосорбента на основе отходов растениеводства для очистки сточных вод от нефтепродуктов / О.В. Колотова, И.В. Соколова, И.В. Владимцева, К.Е. Заикина, А.О. Павлова // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 4. – С. 58–72.
16. Ecosorb: сайт. – URL: <http://ecosorb.su/сорбент-«унисорб-био».html> (дата обращения: 17.03.2018).

17. Eko-tec: сайт. – URL: <http://www.eko-tec.ru/product/5157152/> (дата обращения: 9.12.2017).

18. Выделение и изучение липидоокисляющих микроорганизмов – обитателей Северного Каспия / О.В. Колотова, И.В. Соколова, И.В. Владимцева, Т.В. Беленькова, В.С. Шевцова // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2017. – Т. 20, № 6. – С. 135–138.

### References

1. Davydova S.L., Tagasov V.I. Neft' i nefteprodukty v okruzhaiushchei srede [Oil and oil products in the environment]. Moscow, 2004, 163 p.

2. Greenpeace, available at: <https://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/oil-spills-may-18.pdf> (accessed 21 august 2018).

3. Vulkovan A.I., Ventsiulis L.S. Sovremennyye metody i sredstva bor'by s razlivaminefti [Modern methods and means of dealing with oil spills]. Saint Petersburg, Center-Techinform, 2009, 309 p.

4. Zhdanova E.S., Rudakova L.V. Obosnovanie vozmozhnosti polucheniia biosorbentov dlia likvidatsii neflianykh zagriaznenii prirodnykh ob'ektov [Justification of the possibility of obtaining biosorbents for the elimination of oil pollution of natural objects]. *Perm state technical university urbanity bulletin*, 2011, no. 3, pp. 97-107.

5. Kuznetsov A.E., Gradova N.B., Lushnikov S.V., Engelhart M., Weisser T., Chebotaeva M.V. Prikladnaia ekobiotehnologiya. Tom 1 [Applied ecobiotechnology. Vol. 1]. Moscow, Binom, 2015, 626 p.

6. Artyukh E.A., Mazur A.S., Ukrainsev T.V., Kostyuk L.V. Perspektivy primeneniia biosorbentov dlia ochistki vodoemov pri likvidatsii avariinykh razlivov nefli [Prospects for the use of biosorbents for cleaning water bodies during oil spill response]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta*, 2014, no. 26, pp. 58-66.

7. Gridin O.M., Gridin A.O., Muratov V.Iu., Muratov E.V. Sposob polucheniia gidrofobnogo sorbenta [A method for producing a hydrophobic sorbent]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2002124160/12 (2003).

8. Khabibulina F.M., Archegova I.B., Shubakov A.A., Sharapova I.E., Romanov G.G., Chernov I.Iu., Taskaev A.I., Tuliankin G.M., Zhul'chikhin Iu.S., Koz'minykh A.N. Biosorbent dlia ochistki vodoemov ot nefteproduktov na osnove shtammov bakterii i drozhzhevykh gribov [Biosorbent for cleaning ponds from petroleum products based on strains of bacteria and yeast fungi]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 200104082 / 13 (2008)

9. Galkina N.A., Galkin E.A., Kataeva I.V., Shafran V.N., Nazarenko A.A., Vyatkin K.A., Maltseva M.V., Kovalchuk E.A., Kuznetsova T.A. Biosorbent dlia likvidatsii nefli s poverkhnosti vodoemov [Biosorbent for the elimination of oil from the surface of water bodies]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2013118363/10 (2017)

10. Rudakova L.V., Belik E.S. Obosnovanie vozmozhnosti ispol'zovaniia karbonizata izbytochnogo aktivnogo ila v kachestve biosorbenta, primeniaemogo v tekhnologii bioremediatsii neftezagriaznennykh pochv [Substantiation of the possibility of using carbonized excess activated sludge as a biosorbent used in the technology of bioremediation of oil-contaminated soils]. *Teoreticheskaya i prikladnaia ekologiya*, 2013, no. 1, pp. 22-26.

11. Belik E.S. Poluchenie neflianogo biosorbenta a osnove karbonizata – otkhoda piroliza izbytochnogo aktivnogo ila [Getting oil biosorbent based on carbonisate – waste pyrolysis of excess active sludge]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, no. 14, pp. 120-124.

12. Belik E.S. Intensifikatsiia protsessa bioremediatsii neftezagriaznennykh pochv putem primeneniia biosorbenta na osnove karbonizata izbytochnogo aktivnogo ila [Intensification of the process of bioremediation of oil-polluted soils through the use of a biosorbent based on carbonisate of excess activated sludge]. Abstract of Ph. D. thesis. Perm, 2014, 18 p.

13. Vaisman Ia.I., Glushankova I.S., D'iaikov M.S., Khodiashev M.B. Ekologicheski bezopasnyi sposob utilizatsii osadkov stochnykh vod biokhimicheskikh ochistnykh sooruzhenii s polucheniem uglerodsoderzhashchikh sorbtsionnykh materialov [Environmentally safe method of disposal of wastewater from biochemical treatment plants using carbon-containing sorption materials]. *Voda: khimiia i ekologiya*. 2011. no. 3. pp. 14-24.

14. Shmeleva E.O., Sokolova I.V., Sidenko D.A. Izuchenie aktivnosti nefteokisliayushchikh shtammov, vydelennykh iz ob'ektov okruzhaiushchei sredy, dlia polucheniia biopreparata dlia ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod [The study of the activity of oil-oxidizing strains isolated from environmental objects to obtain a biological product for the treatment of industrial wastewater]. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, no. 7, pp. 56-62, available at: <http://ntk.kubstu.ru/file/1770>. (accessed 7 May 2018).

15. Kolotova O.V., Sokolova I.V., Vladimtseva I.V., Zaikina K.E., Pavlova A.O. Razrabotka biosorbenta na osnove othodov rasteniyevodstva dlya ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov [Development of a biosorbent based on garden waste for cleaning]. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2018, no. 4, pp. 58-72.

16. Ecosorb, available at: <http://ecosorb.ru/сорбент-«унисорб-био».html> (accessed 17 March 2018).

17. Eko-tec, available at: <http://www.eko-tec.ru/product/5157152/> (accessed 9 December 2017).

18. Kolotova O.V., Sokolova I.V., Vladimtseva I.V., Belen'kova T.V., Shevtsova V.S. Vydelenie izuchenie lipidookisliayushchikh mikroorganizmov – obitatelei Severnogo Kaspiia [Isolation and study of lipid-oxidizing microorganisms – inhabitants of the Northern Caspian]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, vol. 20, no. 6, pp. 135-138.

Получено 19.11.2018

**V. Golyatkina, I. Mogilevskaya, O. Kolotova,  
T. Yashkina, E. Karasev, I. Golyatkin**

## **DEVELOPMENT OF A BIOSORBENT BASED ON CARBONATED COAL FOR PURIFYING NATURAL AND WASTE WATER FROM OIL POLLUTION**

The analysis of scientific and technical literature was carried out, the behavior of oil products pollution in water and soil was examined. The most common carriers for biosorbents have been analyzed, and their properties have been compared with the properties of carbonated coal, which led to the conclusion about the possibility of its use as a matrix for microorganisms. In the course of the research, a technique was developed to obtain carbonated coal by low-temperature pyrolysis at 500° C of excess activated sludge from the wastewater treatment plant in the city of Volgograd. For the obtained carrier for immobilization, the optimal size of the fraction was determined, which was 0.6 – 1 mm. A technique for immobilization of microorganisms by mixing the suspension with the sorbent for an hour was selected, and the degree of attachment of the VSTU-02 bacterial strain with lipolytic and oil-oxidizing activity from the working collection of museum cultures of the PEBZh Department of the VOLGTU was determined. A technology for biosorbent production was developed, which includes two steps: obtaining a carrier with optimal properties and immobilization of microorganisms on the sorbent under study. The degree of purification of the model fluid from oil pollution was also determined, which amounted to 98%. A comparative assessment of the already used biosorbents with the test sample based on carbonated coal with the bacterium strain VGTU-02 immobilized on it was carried out. The obtained experimental data allowed concluding that this biosorbent based on carbonated coal of excess activated sludge can be used to remove pollutants from soils and waters contaminated with oil and oil products.

**Keywords:** oil, oil pollution, biosorbents, bacterium strains, excess activated sludge, carbonated coal, immobilization.

**Голяткина Валерия Алексеевна** (Волгоград, Россия) – магистрант кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: ms.vallerri@yandex.ru).

**Могилевская Ирина Владимировна** (Волгоград, Россия) – канд. биол. наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: mogi-irina@yandex.ru).

**Колотова Ольга Владимировна** (Волгоград, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: olgakolotova@mail.ru).

**Яшкина Татьяна Евгеньевна** (Волгоград, Россия) – магистрант кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: toshamidvich@yandex.ru).

**Карасев Евгений Александрович** (Волгоград, Россия) – магистрант кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: karasyov\_94@mail.ru).

**Голяткин Иван Александрович** (Волгоград, Россия) – аспирант кафедры «Автоматические установки», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: vano006@yandex.ru).

**Golyatkina Valeria** (Volgograd, Russia) – Master Student of the Department "Industrial ecology and life safety", Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenin av., 28, e-mail: ms.vallerri@yandex.ru).

**Mogilevskaya Irina** (Volgograd, Russia) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor of the Department "Industrial ecology and life safety", Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenin av., 28, e-mail: mogi-irina@yandex.ru).

**Kolotova Olga** (Volgograd, Russia) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Industrial ecology and life safety", Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenin av., 28, e-mail: olgakolotova@mail.ru).

**Yashkina Tatyana** (Volgograd, Russia) – Master Student of the Department "Industrial ecology and life safety", Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenin av., 28, e-mail: toshamidvich@yandex.ru).

**Karasev Evgeny** (Volgograd, Russia) – Master Student of the Department "Industrial ecology and life safety", Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenin av., 28, e-mail: karasyov\_94@mail.ru).

**Golyatkin Ivan** (Volgograd, Russia) – Postgraduate Student of the Department "Automatic Installations", Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenin av., 28, e-mail: vano006@yandex.ru).