DOI 10.15593/2409-5125/2017.04.08

УДК 606:[504.5+622.323]

Е.С. Белик

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОСОРБЕНТА В ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ И ПОЧВЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами происходит в результате аварийных ситуаций и технологических потерь при добыче, транспортировке и переработке углеводородов нефти. Интенсификация очистки объектов гидросферы и литосферы является актуальной экологической задачей. Одним из способов интенсификации является применение нефтяных биосорбентов. На основании ранее проведенных исследований были получены образцы биосорбента на основе карбонизата – отхода пиролиза избыточного активного ила нефтехимического предприятия, а также углеводородоокисляющих микроорганизмов, выделенных из нефтезагрязненной почвы. Для определения эффективности полученного нефтяного биосорбента были проведены экспериментальные исследования по очистке почвы и воды в лабораторных условиях. Экспериментальные исследования по очистке нефтезагрязненной сточной воды осуществлялась в лабораторном аэротенке с помощью активного ила в течение 8 и 24 ч. Эффективность очистки сточной воды с помощью карбонизата и биосорбента через 8 ч составила 54,4 и 53,8 % соответственно, что выше традиционного способа очистки. По сравнению с карбонизатом применение полученного биосорбента не позволило увеличить эффективность очистки воды, что можно объяснить необходимостью иммобилизации на носителе наиболее эффективного консорциума микроорганизмов, применяемых для ликвидации нефтяного загрязнения. Увеличение времени очистки до 24 ч не позволяет значительно повысить эффективность очистки воды. Экспериментальные исследования по биоремедиации нефтезагрязненной почвы проводили в лабораторных условиях в течение трех месяцев. Эффективность очистки почвы полученным биосорбентом составила 59,3 %, что в 1,6 раза выше по сравнению с использованием карбонизата и в 1,7 раза выше по сравнению с традиционным способом очистки.

Ключевые слова: биосорбент, биологическая очистка сточных вод, биоремедиация нефтезагрязненных почв.

Объемы добычи нефти ежегодно увеличиваются и в 2016 г. объем добытой нефти в России составил более 550 млн т [1]. В Пермском крае объем добытой нефти составляет более 15,9 млн т [2]. При добыче, транс-

Белик Е.С. Оценка эффективности применения биосорбента в технологии биологической очистки воды и почвы от нефтепродуктов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 104–114. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.08

Belik E. Evaluation of efficiency of application of oil biocorbent in the technology of biological cleaning water and soil. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 4. Pp. 104-114. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.08

портировке и переработке углеводородов нефти возникают аварийные ситуации и технологические потери в результате чего загрязняется окружающая природная среда и, в первую очередь, объекты гидро- и литосферы. По данным некоторых специалистов ежегодные потери составляют от 2 до 5 % от добываемой в стране нефти [3, 4].

Перспективным направлением по очистке от нефти и нефтепродуктов является биотехнологический способ с использованием биосорбентов. Биосорбент – это носитель с иммобилизованными на поверхности микроорганизмами, используемый для очистки органических соединений [5, 6]. В настоящее время существует большое количество биосорбентов на основе природных (торф, перлит, керамзит и пр.) и искусственных (полипропилен, полиуретан и пр.) материалов, отличающихся способом получения, а также культурами микроорганизмов, иммобилизованными на его поверхности [5, 7–10].

В качестве носителей могут быть употреблены промышленные отходы, которые будут экономически выгодны в использовании, экологически безопасны и технологически приемлемы для получения. Расширение базы вторичных материалов для получения биосорбентов позволит использовать ресурсный потенциал отходов, получить новые материалы с заданными свойствами, применяемыми в природоохранных технологиях, и минимизировать негативное воздействие отходов на объекты окружающей природной среды [5].

В результате внедрения на одном из предприятий нефтехимического комплекса системы термического обезвреживания избыточного активного ила образуется макропористый материал – карбонизат. Годовой объем образующегося карбонизата составляет 20 тыс. т. Размещение карбонизата в окружающей среде нерационально и не решает проблему сокращения объема отходов. Использование его в качестве носителя для микроорганизмов с целью получения нефтяного биосорбента позволит решить сразу несколько экологических задач [5].

На основании ранее проведенных исследований были определены оптимальные условия для получения адсорбционным способом биосорбента на основе карбонизата и микроорганизмов-нефтедеструкторов, выделенных из нефтезагрязненной почвы: биомасса сухих клеток микроорганизмов в суспензии – не менее 1 г/л, время иммобилизации – не менее 2 ч.

В результате экспериментальных лабораторных исследований были получены образцы биосорбента с иммобилизованными на его поверхности микроорганизмами-нефтедеструкторами со следующими параметрами: количество закрепленной биомассы – $60 \pm 7,2$ %; количество иммобилизован-

ных клеток микроорганизмов – $41 \pm 2,9$ %; количество иммобилизованных клеток микроорганизмов на 1 г носителя – $(2,5 \pm 0,4) \cdot 10^7$ клеток/г.

Цель данной работы – оценить эффективность полученного биосорбента на основе карбонизата при очистке почвы и сточной воды от углеводородов нефти.

Методы исследования. Для проведения экспериментальных исследований по очистке сточных вод были отобраны пробы активного ила из аэротенка нефтехимического предприятия Пермского края. Отбор проб осуществляли согласно ФР 1.31.2008.04397 «Методика выполнения измерений массовой концентрации активного ила». Гидрохимические и гидробиологические показатели активного ила измерялись согласно ПНД Ф СБ 14.1.77–96 «Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками».

Определение нефтепродуктов в воде осуществляли методом ИК-спектromетрии согласно ПНД Ф 14.1:2.4.5–95 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИК-спектromетрии». Концентрацию нефтепродуктов в воде ($C_{\text{ч}}$, мг/дм³) вычисляли по формуле

$$C_{\text{ч}} = \frac{C_{\text{изм}} \cdot B \cdot K}{V}, \quad (1)$$

где $C_{\text{изм}}$ – содержание нефтепродуктов в элюате, измеренное на приборе, мг/дм³; B – объем элюата, дм³; V – объем пробы воды, взятой для определения, дм³; K – коэффициент разбавленного элюата.

Для проведения экспериментальных исследований по очистке почвы были отобраны пробы нефтезагрязненных грунтов с технологических площадок биоремедиации. Отбор проб осуществлялся из поверхностного слоя до глубины 0,3 м методом «конверта» (смешанная проба на площади 20–25 м²) в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01–83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 17.4.4.02–84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Определение нефтепродуктов в почве осуществляли методом ИК-спектromетрии согласно ПНД Ф 16.1:2.2.22–98 «Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектromетрии». Концентрацию нефтепродуктов в почве ($X_{\text{изм}}$, мг/кг) вычисляли по формуле

$$X_{\text{изм}} = \frac{C_{\text{изм}} \cdot V \cdot V_2 \cdot V_{\text{элюат}}}{M \cdot V_1 \cdot V_{\text{ал}}},$$

где $C_{\text{изм}}$ – показания прибора, мг/дм³; M – масса навески образца для анализа, кг; V – суммарный объем экстракта, дм³; V_1 – объем экстракта, взятый для разбавления, дм³; V_2 – объем экстракта, полученный после разбавления, дм³; $V_{\text{ал}}$ – объем аликвоты экстракта, введенной в хроматографическую колонку, дм³; $V_{\text{элюат}}$ – объем элюата, полученного после пропускания экстракта через колонку, дм³.

Влажность почвы устанавливали при высушивании пробы почвы до постоянной массы при температуре 105±5 °С и определении разницы в массе почвы до и после высушивания. Реакцию среды pH определяли в водной суспензии почвы с помощью pH-метра согласно ГОСТ 26423–85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки».

Микробиологический контроль осуществляли по следующим показателям: численность углеводородокисляющих микроорганизмов, микроскопических грибов и бактерий рода *Azotobacter*, применяя широко используемый в микробиологической практике метод посева на различные селективные питательные среды. Представленные группы микроорганизмов играют основную роль в деструкции углеводородов нефти [11].

Микроскопические исследования проводились на микроскопе *Carl Zeiss* с программным обеспечением и встроенной видеокамерой.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с использованием компьютерной программы Excel 2007, рассчитывая среднее арифметическое и стандартную ошибку среднего. Достоверность различий между средними величинами оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Для определения эффективности полученного биосорбента на основе карбонизата и углеводородокисляющих микроорганизмов проводилась серия экспериментальных исследований по очистке воды и почвы от нефти и нефтепродуктов.

Экспериментальные исследования по очистке сточных вод с помощью нефтяного биосорбента. Для проведения эксперимента по биологической очистке использовали нефтезагрязненную сточную воду с содержанием нефтепродуктов 156,3±21,9 мг/дм³, поступающую на биологические очистные сооружения нефтехимического предприятия Пермского края.

Очистка нефтезагрязненной сточной воды осуществлялась в лабораторном аэротенке с помощью активного ила, соответствующего для применения

по гидробиологическим и гидрохимическим показателям: скорость оседания хлопка – быстро, цвет – буро-коричневый, запах – болотный, вода над осевшим илом – прозрачная, иловый индекс – $106,6 \pm 5$ г/мл.

В активном иле выявлены гидробионты, являющиеся индикаторами хорошей работы очистных сооружений, а именно: *Tokophrya Lemnarum*, *Lecane (Monostyla) decipiens*, *Arcelladis coides*, *Arcella vulgaris*, *Arthro tardigrada*, *Vorticella campanula*, *Aelosoma tenebrarum*, *Aspidisca costata*, *Zinotusanser*, *Carchesium spectabile*, *Loxophyllum fasciolatum*, *Philodina megalotrocha*, *Paramécium caudátum*, *Carchesiums pectabile* и др. [12, 13].

Биоценоз активного ила, применяемого для биологической очистки, представлен на рисунке.

Lecane (Monostyla) decipiens (слева),
Arcella discoides (справа)
(увеличение $\times 600$)

Carchesium spectabile
(увеличение $\times 800$)

Рис. Биоценоз активного ила, применяемого для биологической очистки

В качестве контроля использовали результаты экспериментов по очистке воды: традиционным способом без добавления сорбентов и биосорбентов (вариант 1), а также с применением карбонизата (вариант 2).

Контроль процесса очистки воды в ходе эксперимента проводили по физико-химическим (содержание нефтепродуктов, pH) и гидробиологическим показателям активного ила (цвет, запах, мутность, скорость оседания хлопка активного ила, состояние микроорганизмов активного ила). Эффективность очистки сточной воды оценивалась через 8 и 24 ч с начала эксперимента.

По результатам гидробиологических исследований во всех исследуемых вариантах визуальное состояние активного ила было в пределах нормы. Однако при микроскопировании ила через 8 ч в варианте 1 (традиционный способ) наблюдалось ухудшение биоценоза: снизилась активность гидробионтов, появились цисты простейших, видовое разнообразие уменьшилось. По истечении 24 ч биологической очистки отметили повы-

шение активности, численности и видового разнообразия, что говорит об относительно устойчивом биоценозе активного ила, который восстанавливается естественным путем и в достаточно короткие сроки.

При микроскопировании ила в варианте 2 (применение карбонизата) и 3 (применение биосорбента) значительных изменений состояния гидробионтов активного ила не наблюдалось.

Результаты экспериментов по биологической очистке сточной воды с помощью биосорбента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований
по биологической очистке сточной воды

Вариант	Исходное содержание нефтепродуктов, мг/дм ³	Остаточное содержание нефтепродуктов, мг/дм ³		Эффективность очистки, %	
		8 ч	24 ч	8 ч	24 ч
1. Традиционный способ	156,3±21,9	125,8 ± 17,6	65 ± 9,1	19,5	58,4
2. Применение карбонизата		71,2 ± 7,2	59,2 ± 5,5	54,4	62,1
3. Применение биосорбента		72,2 ± 10,1	54,6 ± 7,6	53,8	65,1

Как показывают данные, эффективность очистки сточных вод от нефтепродуктов через 8 ч составила 53,8 % в варианте 3 и 54,4 % в варианте 2, что эффективнее традиционного способа очистки в 2,8 раза.

Увеличение времени очистки до 24 ч не позволяет значительно повысить эффективность очистки в варианте 2 (применение карбонизата) и 3 (применение биосорбента). При традиционном способе очистки (вариант 1) эффективность через 24 ч увеличивается в 3 раза, что можно объяснить тем, что микроорганизмам активного ила требуется больше времени для переработки органических веществ, что подтверждают данные микроскопических исследований активного ила. Применение карбонизата и биосорбента позволит не увеличивать время очистки до 24 ч, а проводить биологическую очистку в аэротенке в течение 8 ч.

Эффективность очистки с помощью биосорбента (вариант 3) недостаточная по сравнению с контрольным вариантом 2, что можно объяснить необходимостью иммобилизации наиболее эффективных микроорганизмов, используемых для ликвидации нефтяного загрязнения.

Для увеличения эффективности полученного биосорбента рекомендуется: подобрать оптимальный консорциум микроорганизмов – нефтяных биодеструкторов, использующих нефть в качестве источника питания, а также обеспечить максимальное закрепление микроорганизмов в порах носителя. Формирование микробиоценоза на поверхности материала напрямую зависит от природы носителя и микроорганизмов, степени гидрофильности поверхности материала и живой клетки, заряда поверхности живой клетки и носителя, соотношение размеров клеток микроорганизмов и пор носителя и многих других факторов [5, 14, 15].

Экспериментальные исследования по очистке почвы с помощью нефтяного биосорбента. Для определения эффективности полученного биосорбента в технологии биоремедиации проводилась серия экспериментов по очистке почвы с содержанием нефтепродуктов 40 ± 5 г/кг, отобранных с технологических площадок биоремедиации.

Экспериментальные исследования по биоремедиации нефтезагрязненных почв проводили в лабораторных условиях в контейнерах емкостью $5,0 \text{ дм}^3$ в течение 3 месяцев. В ходе экспериментальных исследований поддерживали постоянные условия: температура воздуха 20 ± 2 °C; pH среды 6,0–7,0; освещение – естественное; влажность субстрата – 60 ± 5 %.

В качестве контроля использовали результаты экспериментов по очистке почвы: традиционным способом с добавлением структуратора – опила (вариант 1), а также с применением карбонизата (вариант 2).

Обоснованием выбора соотношений компонентов исследуемых субстратов служили существующие технологические параметры процесса биоремедиации в климатических условиях Западного Урала (вариант 1), литературные данные по применению биосорбентов, а также экспериментальные данные (варианты 2, 3).

Контроль процесса очистки нефтезагрязненных почв в ходе эксперимента проводили по физико-химическим (содержание нефтепродуктов, влажность и pH) и микробиологическим показателям. Эффективность очистки почвы оценивалась через 1,5 и 3 месяца с начала эксперимента. Результаты экспериментальных исследований по очистке почвы с помощью полученного биосорбента на основе карбонизата представлены в табл. 2.

Как показывают данные, эффективность очистки почвы от нефтепродуктов составила 59,3 % в варианте 3 (применение биосорбента), что в 1,6 раза выше по сравнению с вариантом 2 (применение карбонизата) и в 1,7 раза выше по сравнению с вариантом 1 (традиционный способ). Эффективность очистки при традиционном способе и применении карбонизата практически не отличается, что позволяет использовать карбонизат в качестве структуратора при биоремедиации нефтезагрязненных почв.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований по очистке почвы

Вариант способа очистки нефтезагрязненной почвы	Исходное содержание нефтепродуктов, г/кг	Остаточное содержание нефтепродуктов, г/кг		Эффективность очистки, %	
		1,5 месяца	3 месяца	1,5 месяца	3 месяца
1. Традиционный способ	40±5	34,1±0,2	25,8±0,1	14,8	35,5
2. Применение карбонизата		34,5±0,3	25,1±0,2	13,8	37,3
3. Применение биосорбента		28,6±0,2	16,3±0,1	28,5	59,3

Результаты микробиологических исследований почвенных субстратов через 3 месяца приведены в табл. 3.

Таблица 3

Микробиологический анализ субстратов через 3 месяца

Вариант способа очистки нефтезагрязненной почвы	Показатели	Характеристика исходной почвы	Характеристика почвы через 3 месяца
1. Традиционный способ	Углевородоксиляющие микроорганизмы, КОЕ/г	$(1,65 \pm 0,4) \cdot 10^7$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^8$
	Бактерии р. <i>Azotobacter</i> , % об-растания комочков	85	95
	Микроскопические грибы, КОЕ/г	Отсутствуют	Отсутствуют
2. Применение карбонизата	Углевородоксиляющие микроорганизмы, КОЕ/г	$(1,65 \pm 0,4) \cdot 10^7$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^9$
	Бактерии р. <i>Azotobacter</i> , % об-растания комочков	85	90
	Микроскопические грибы, КОЕ/г	Отсутствуют	$(0,5 \pm 0,7) \cdot 10^6$
3. Применение биосорбента	Углевородоксиляющие микроорганизмы, КОЕ/г	$(1,65 \pm 0,4) \cdot 10^7$	$(3,3 \pm 0,2) \cdot 10^9$
	Бактерии р. <i>Azotobacter</i> , % об-растания комочков	85	100
	Микроскопические грибы, КОЕ/г	Отсутствуют	$(2,0 \pm 1,3) \cdot 10^6$

По сравнению с исходным субстратом в варианте 3 количество углевородоксиляющих микроорганизмов увеличилось, появились микроскопические грибы, что свидетельствует об интенсификации процесса биодеструкции углеводов нефти. Увеличение количества бактерий р. *Azotobacter* на 15 % указывает на снижение токсичности субстрата.

По сравнению с исходным субстратом в варианте 2 количество углеводородокисляющих микроорганизмов увеличилось, появились микроскопические грибы. Увеличение количества бактерий р. *Azotobacter* произошло на 5 %, что также свидетельствует о протекании процесса биологической очистки почвы, но медленнее по сравнению с применением биосорбента.

На основании проведенных экспериментальных исследований по применению нефтяного биосорбента установлено:

1. При проведении биологической очистки сточных вод с помощью биосорбента в течение 8 ч снижается содержание нефтепродуктов в очищенной воде до 53,8 %, что эффективнее традиционного способа очистки в 2,8 раза. Увеличение времени очистки до 24 ч не позволяет значительно повысить эффективность очистки.

2. По сравнению с карбонизатом применение полученного биосорбента не позволило увеличить эффективность очистки воды, что можно объяснить необходимостью иммобилизации на носителе наиболее эффективного консорциума микроорганизмов, используемых для ликвидации нефтяного загрязнения.

3. Применение биосорбента при биологической очистке почвы позволит снизить содержание нефтепродуктов до 59,3 %, что в 1,6 раза выше по сравнению с использованием карбонизата и в 1,7 раза выше по сравнению с традиционным способом очистки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00424 мол_а.

Библиографический список

1. Добыча нефти [Электронный ресурс] // Все о нефти: сайт. – URL: <http://vseonefti.ru/> (дата обращения: 18.06.2017).
2. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2016 году [Электронный ресурс] // Природа Пермского края: сайт. – URL: <http://www.permecology.ru/> (дата обращения: 18.06.2017).
3. Сальников А.В. Потери нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2012. – 108 с.
4. Ахмадиев М.В. Применение аборигенных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов при биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 2. – С. 119–130.
5. Белик Е.С., Злобина К.А. Исследование возможности использования отходов производства в качестве биосорбента // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 3 (23). – С. 62–76.
6. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. – Ижевск; М.: Институт компьютерных исследований, 2003. – 268 с.

7. Пат. 2529771 РФ, МПК C02F3/34, C02F1/28, C12N11/02. Биосорбент для ликвидации нефти с поверхности водоемов / Н.А. Галкина, Е.А. Галкин, И.В. Катаева, В.Н. Шафран, О.А. Назаренко, К.А. Вяткин, М.В. Мальцева, Е.А. Ковальчук, Т.А. Кузнецова. – Оpubл. 27.09.2014.
8. Ковальчук Е.А. Биосорбент для ликвидации нефти с поверхности водоемов // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15: [спец. вып. XVIII конгр. «Экология и здоровье человека»]. – С. 1817–1819.
9. ООО «Уралэкоресурс» – обезвреживание опасных отходов. Рекультивационные работы. Зачистка резервуаров от отходов и осадков [Электронный ресурс] // Биопрепарат «БИОРЕК-РА»: сайт. – URL: <http://www.uer.su/biopreparat-biorek-ra/> (дата обращения: 12.07.2016).
10. Пат. 2361686 РФ, МПК B09C1/10, C02F3/34, C12N1/26. Биопрепарат для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов / Л.И. Сваровская, С.И. Писарева, Л.К. Алтунина. – Оpubл. 20.07.2009.
11. Практикум по микробиологии: учеб. пособие / А.И. Нетрусов [и др.] – М.: Академия, 2005. – 608 с.
12. Рекомендации по проведению гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки с аэротенками: метод. пособие / Управление по охране окружающей среды Пермской области ОГУ «Аналитический центр». – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2004. – 53 с.
13. Фауна аэротенков / под ред. Л.А. Кутиковой. – Л.: Наука, 1984. – Т. 2. – 263 с.
14. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – СПб.: Мир и Семья, 2002. – Ч. I. – 988 с.
15. Имобилизованные клетки микроорганизмов / А.П. Синицын, Е.И. Райнина, В.И. Лозинский, С.Д. Спасов. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 288 с.

References

1. Dobycha nefi [Oil production]. Vse o nefi, available at: <http://vseonefti.ru/> (accessed 18 June 2017).
2. O sostoyanii i ob okhrane okruzhaiushchej sredy Permskogo kraja v 2016 godu [On the state of the environment of the Perm region in 2013]. Priroda Permskogo kraja, available at: <http://www.permecology.ru> (accessed 18 June 2017).
3. Salnikov A.V. Poteri nefi i nefteproduktov [Losses of oil and oil products]. Ukhta: Izd-vo UGTU, 2012. 108 p.
4. Akhmadiev M.V. Primenenie aborigennykh shtammov uglevodorodokislyaiushchikh mikroorganizmov pri bioremediatsii neftezagryaznennykh pochv i gruntov [Using of aboriginal hydrocarbons-oxidizing microorganisms in the bioremediation of contaminated soil and ground]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2014, no. 2(14), pp. 119–130.
5. Belik E.S., Zlobina K.A. Issledovanie vozmozhnosti ispolzovaniya otkhodov proizvodstva v kachestve biosorbenta [Investigation of the possibility of using industrial waste as a biosorbent]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2016, no. 3 (23), pp. 62–76.
6. Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Neftnyanye sorbenty [Oil sorbents]. Izhevsk; Moscow: Institut kompyuternykh issledovaniy, 2003. 268 p.
7. Galkin N.A., Galkina E.A., Kataeva I.V., Shafran V.N., Nazarenko O.A., Vyatkin K.A., Mal'tseva M.V., Koval'chuk E.A., Kuznetsova T.A. Biosorbent dlia likvidatsii nefi s poverkhnosti vodoemov [Biosorbent for elimination of crude oil from water surface]. Patent No. 2529771 RF. 2014.
8. Koval'chuk E.A. Biosorbent dlya likvidatsii nefi s poverkhnosti vodoemov [Biosorbent for elimination of crude oil from water surface]. *Izvestiya Samarskogonauchnogo tsentra RAN. Spetsial'nyi vypusk. XVIII kongress «Ekologiya i zdorov'echeloveka»*, 2013, vol. 15, pp. 1817–1819.
9. ООО «Уралэкоресурс» – обезвреживание опасных отходов. Рекультивационные работы. Зачистка резервуаров от отходов и осадков [ООО Уралэкоресурс – disposal of hazardous waste. Reclamation work. The tank cleaning from waste and sediments]. Биопрепарат БИОРЕК-РА, available at: <http://www.uer.su/biopreparat-biorek-ra/> (accessed 12 July 2016).
10. Svarovskaya L.I., Pisareva S.I., Altunina L.K. Биопрепарат dlya ochistki pochvy i vody ot nefi i nefteproduktov [Biopreparation for cleaning soil and water from oil and oil products]. Patent No. 2361686 RF. 2009.

11. Netrusov A.I. [et al.] Praktikum po mikrobiologii [Workshop of the Microbiology]. Moscow: Akademiya, 2005. 608 p.
12. Rekomendatsii po provedeniyu gidrobiologicheskogo kontrolya na sooruzheniyakh biologicheskoy ochistki s aerotenkami. [Recommendations for conducting hydrobiological control on biological treatment facilities with aerotanks.]. Perm, 2004. 53 p.
13. Kutikova L.A. Fauna aerotנקov [Fauna of aerotנקs]. Leningrad: Izd-vo Nauka, 1984. Vol. 2. 263 p.
14. Novyj spravochnik khimika i tekhnologa. Syr'e i produkty promyshlennosti organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv. Chast' I. Saint Petersburg: Mir i Sem'ya, 2002. 988 p.
15. Sinitsyn A.P., Rajnina E.I., Lozinskij V.I., Spasov S.D. Immobilizovannye kletki mikroorganizmov [Immobilized cells of microorganisms]. Moscow: Izd-vo MGU, 1994. 288 p.

Получено 12.09.2017

E.S. Belik

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF OIL BIOCORBENT IN THE TECHNOLOGY OF BIOLOGICAL PURIFICATION OF WATER AND SOIL

Pollution by oil and oil products occurs because of emergencies and technological loss during the extraction, transportation and processing of petroleum hydrocarbons. Intensification of the purification of hydrosphere and lithosphere objects is an urgent environmental task. One of the intensification methods is the use of oil biosorbents. Based on earlier studies, samples of a biosorbent based on carbonizate and hydrocarbon-oxidizing microorganisms isolated from oil-contaminated soil were obtained. Experimental studies on soil and water purification have been carried out in laboratory conditions to determine the effectiveness of the obtained oil biosorbent. Purification of oil-contaminated wastewater has been carried out in a laboratory aeration tank with the help of activated sludge for 24 hours. The efficiency of wastewater treatment with biosorbent in 8 hours was 53.8 %, which is 2.8 times higher than the efficiency of the traditional method of purification; however, the efficiency of wastewater treatment with carbonizate is similar and is 54.4 %. This can be explained by the fact that fixed microorganisms due to the long-term storage (more than 6 months) after receiving the biosorbent lost their activity, or to the need to immobilize the most effective microorganisms for the elimination of oil pollution. Experimental studies on the bioremediation of oil-contaminated soil have been carried out in a laboratory for three months. The effectiveness of soil purification with biosorbent was 59.3 %, which is 1.6 times higher than using carbonizate and 1.7 times higher than with the traditional method of purification.

Keywords: biosorbent, biological wastewater treatment, bioremediation of oil contaminated soils.

Белик Екатерина Сергеевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).

Belik Ekaterina (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).