DOI 10.15593/2409-5125/2015.01.04

УДК 504.5.064.2:606

Е.С. Белик

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ОТХОДА

В результате внедрения на предприятиях нефтехимического комплекса системы термического обезвреживания избыточного активного ила образуется более 20 тыс. т карбонизата избыточного активного ила. Получение новых материалов из отходов производства позволит наиболее полно использовать их ресурсный потенциал, сократить объемы накопленных и размещаемых на полигоне отходов, а также минимизировать негативное воздействие отходов на объекты окружающей среды. Показана возможность использования карбонизата, отхода производства избыточного активного ила биологических очистных сооружений нефтехимического комплекса, в качестве носителя для иммобилизации микроорганизмов с целью получения биосорбентов, применяемых в природоохранных технологиях. По своим механическим и физико-химическим свойствам карбонизат соответствует требованиям, предъявляемым к носителю для иммобилизации микроорганизмов. Описана блок-схема производства биосорбента с указанием материальных потоков, принципиальная технологическая схема производства биосорбента на основе карбонизата и углеводородокисляющих микроорганизмов. Полученный биосорбент на основе карбонизата рекомендуется использовать в технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв. Доза биосорбента не более 10 г на 1 кг нефтезагрязненной почвы. Выполнен эколого-экономический анализ производства и использования биосорбента на основе отхода. Себестоимость полученного биосорбента на основе карбонизата в ценах 2014 г. составит 102 тыс. руб. за 1 т при инвестиционных издержках в 14,6 млн руб. Предотвращенный экологический ущерб от загрязнения почв химическими веществами составит 7,8 млн руб./год. Предотвращенный экологический ущерб от размещения избыточного активного ила в виде отхода в окружающей среде 366 тыс. руб/год.

Ключевые слова: биосорбент на основе отхода, карбонизат, углеводородокисляющие микроорганизмы, иммобилизация, биоремедиация, эколого-экономический анализ.

В Пермском крае в результате хозяйственной деятельности предприятий образуется более 1000 видов отходов производства и потребления. По данным Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края, объем образования

отходов производства и потребления в 2013 г. по краю составил 36,3 млн т [1]. Большая часть образуемых отходов производства и потребления поступает на специализированные объекты размещения отходов – полигоны, свалки, которые эксплуатируются долгое время и занимают огромные земельные территории. Одним из способов сократить объемы накопленных и размещаемых на полигоне отходов и минимизировать негативное воздействие отходов на объекты окружающей природной среды является получение новых материалов из отходов.

В результате внедрения на предприятиях нефтехимического комплекса системы термического обезвреживания избыточного активного ила образуется макропористый материал – карбонизат. Годовой объем образующегося карбонизата составляет порядка 20 тыс. т [2]. По своим механическим и физико-химическим свойствам карбонизат может соответствовать требованиям, предъявляемым к носителю для иммобилизации микроорганизмов. Использование карбонизата избыточного активного ила в качестве носителя с целью получения биосорбента, применяемого в технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв (НЗП), позволит сократить объемы складироваемых в окружающей среде отходов и наиболее полно использовать их ресурсный потенциал.

Цель работы провести эколого-экономическую оценку производства и использования биосорбента на основе карбонизата избыточного активного ила.

Объектом исследования данной работы является карбонизат, полученный в результате низкотемпературного пиролиза избыточного активного ила биохимических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия с иммобилизованными культурами углеводородокисляющих микроорганизмов, которые обеспечивают биологическое разложение нефти и нефтепродуктов [3–6].

Карбонизат представляет собой пористые гранулы размером 5–10 мм и имеет следующие технические характеристики: насыпная плотность – 385 г/дм³, водопоглощение – 61,5 %, продуктопоглощение (нефте- и маслосмолемкость) – 0,35–0,55 г/г, механическая прочность на истирание – 50 %, класс опасности – 4-й (в соответствии с СП 2.1.7.1386–03) [3, 4, 6].

Для иммобилизации на твердом носителе использовали углеводородокисляющие микроорганизмы: *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas facilis*, *Rhodococcus ruber*, *Rhodococcus fasciens*,

Mortierella sp., которые были выделены из нефтезагрязненной почвы, опасного воздействия на людей и окружающую природную среду не оказывают, патогенетического значения для человека и животных не имеют, фитопатогенами не являются [3, 6–8]. Микробицет р. *Mortierella*, обнаруженный на поверхности биосорбента, представлен на рис. 1.

Рис. 1. Микробицет р. *Mortierella*, обнаруженный на поверхности биосорбента (увеличение $\times 800$)

Иммобилизацию проводили физическим способом в динамике методом пропускания суспензии углеводородокисляющих микроорганизмов через слой носителя [9–12]. Поверхность карбонизата с иммобилизованными углеводородокисляющими микроорганизмами представлена на рис. 2.

Рис. 2. Поверхность карбонизата с иммобилизованными углеводородокисляющими микроорганизмами (увеличение $\times 3000$)

Блок-схема производства биосорбента с указанием материальных потоков представлена на рис. 3.

Рис. 3. Блок-схема производства биосорбента

Принципиальная технологическая схема производства биосорбента представлена на рис. 4 [3, 6].

Рис. 4. Принципиальная технологическая схема производства биосорбента:
1 – инокулятор; 2, 5, 8 – насос; 3, 4 – ферментер; 6 – адсорбер; 7 – сушилка [3, 6]

Параметры технологических процессов, подвергаемые обязательному контролю при получении биосорбента, представлены в табл. 1 [13, 14].

Таблица 1

Контролируемые параметры на стадиях
технологического процесса

№ п/п	Стадия производства	Контролируемый параметр
1	Приготовление посевного материала	Чистота и стерильность питательной среды Микробиологические показатели (наличие микроорганизмов, плотность культуры)
2	Первичная ферментация	Микробиологические показатели (наличие микроорганизмов, плотность культуры)
3	Главная ферментация	Микробиологические показатели (наличие микроорганизмов, плотность культуры) Концентрация нефти Параметры протекания ферментации (рН, периодичность работы мешалки, аэрация, температура)
4	Физическая иммобилизация на пористой поверхности углеродного носителя	Микробиологические показатели на входе и выходе из адсорбера (наличие микроорганизмов, плотность культуры)
5	Сушка биосорбента	Влажность биосорбента Температура воздуха, подаваемого для сушки Время сушки биосорбента
6	Фасовка, упаковка	Соблюдение условий и сроков хранения биосорбента
7	Хранение	

Полученный биосорбент на основе карбонизата применен в технологии биоремедиации НЗП. Установлено повышение эффективности очистки НЗП, по сравнению с традиционными способами биоремедиации, в 1,7 раза. Определена доза вносимого биосорбента не более 10 г на 1 кг НЗП [5].

Для определения эффективности получения и использования биосорбента на основе карбонизата избыточного активного ила произведен эколого-экономический анализ [15]. Расчет проводили для предприятия с производительной мощностью 100 т биосорбента в год. Затраты на строительство и производство биосорбента рассчитано на основании текущих цен, действующих на момент составления расчета, представленных информационными интернет-ресурсами. Себестоимость полученного биосорбента на основе карбонизата в ценах 2014 г. составила 102 тыс. руб. за 1 т при инвестиционных издержках в 14,6 млн руб.

Эколого-экономические показатели производства биосорбента на основе карбонизата избыточного активного ила представлены в табл. 2.

Таблица 2

Эколого-экономические показатели производства
биосорбента на основе карбонизата избыточного
активного ила (цены 2014 г.)

Показатель	Ед. изм.	Значение
<i>Экономические показатели производства биосорбента</i>		
Объем производства биосорбента	т/год	100
Капитальные затраты	млн руб.	14,6
Эксплуатационные затраты	млн руб./год	10,2
Фонд заработной платы	тыс. руб./год	2288,1
Отчисления в социальные фонды	тыс. руб./год	780, 2
Амортизационные отчисления	тыс. руб./год	1457,0
Расходы на материалы и запасные части	тыс. руб./год	364,2
Затраты на сырье, необходимое для производства биосорбента	тыс. руб./год	2799,3
Затраты на электроэнергию	тыс. руб./год	110,3
Арендная плата	тыс. руб./год	2400,0
Себестоимость биосорбента	руб./кг	102
Цена отпускная	руб./кг	122,4
Прибыль	тыс. руб.	2040

Окончание табл. 2

Показатель	Ед. изм.	Значение
Рентабельность	%	20
Срок окупаемости	годы	2
<i>Экологические показатели производства биосорбента</i>		
Предотвращенный экологический ущерб от загрязнения почв химическими веществами при реализации технологии биоремедиации НЗП с помощью биосорбента на основе карбонизата	млн руб./год	7,8
Предотвращенный экологический ущерб от размещения избыточного активного ила в виде отходов в окружающей среде	тыс. руб/год	366

Размер наносимого ущерба, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, оценивался в соответствии с Приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды». При реализации технологии биоремедиации с помощью биосорбента на основе карбонизата предотвращенный экологический ущерб от загрязнения почв химическими веществами составит 7,8 млн руб./год.

Экономическая оценка платы за размещение отходов городских биологических очистных сооружений проводится в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 344 от 12 июня 2003 г. «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления», Постановлением Правительства Российской Федерации № 632 от 28 августа 1992 г. «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия».

В результате внедрения производства по получению биосорбента на основе карбонизата мощностью 100 т/год уменьшится масса избыточного активного ила размещаемого на специализированном полигоне на 1240 т в год, за счет чего для предприятия снизится плата за размещение отходов на 366 015, 4 руб./год.

В табл. 3 приведена сравнительная характеристика стоимости очистки биосорбентов – аналогов. Стоимость приведена на основании текущих цен действующих на момент составления расчета, представленных информационными интернет-ресурсами по данным поставщиков (производителей).

Таблица 3

**Сравнительная характеристика стоимости
очистки биосорбентов [12–15]**

Биосорбент	Стоимость биосорбента, руб./кг	Уборка 1 т нефтеразлива		Биоремедиация 1 га НЗП	
		Расход биосорбента для поглощения 1 т нефти, кг	Стоимость уборки 1 т нефти, тыс. руб.*	Расход биосорбента, т/га НЗП	Стоимость очистки 1 га НЗП, тыс. руб.*
Биосорбент на основе карбонизата (http://eko-marketing.ru)	122,4	550	67,32	1–2	122,4–244,8
Биосорбонафт (http://www.press-torf.m-b.ru)	Не менее 185	–	–	2–6	370–1110
Унисорб-Био (http://www.econad.com.ua)	320	30	9,6	–	–
Биосорб (http://www.ecosorb.su)	240	200	48	–	–

* Без учета транспортных и других расходов.

Стоимость уборки 1 т нефти и очистки 1 га НЗП дана без стоимости транспортных расходов, расходов на нанесение, уборку, вывозку и утилизацию загрязненного сорбента, что значительно увеличивает конечную стоимость.

По представленным данным видно, что стоимость очистки НЗП с помощью биосорбента на основе карбонизата выше при уборке 1 т нефти в 1,4–7 раз, по сравнению с биосорбентами-аналогами «Унисорб-Био» и «Биосорб». Однако расход биосорбента на основе карбонизата для поглощения 1 т нефти рассчитан по средней фактической нефтеемкости носителя для микроорганизмов – карбонизата, соответственно, теоретически можно предположить, что расход будет сокращаться за счет присутствующих в порках носителя углеводородокисляющих микроорганизмов.

Стоимость очистки 1 га НЗП с помощью биосорбента на основе отходов процесса низкотемпературного пиролиза избыточного активного ила меньше в 3–4,5 раза, чем с помощью «Биосорбонафта».

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. В результате внедрения на предприятиях нефтехимического комплекса системы термического обезвреживания избыточного активного ила образуется более 20 тыс. т карбонизата. Использование карбонизата избыточного активного ила в качестве биосорбента, применяемого в технологии биоремедиации НЗП, позволит сократить объемы складироваемых в окружающей среде отходов и наиболее полно использовать их ресурсный потенциал.

Разработана принципиальная технологическая схема производства биосорбента, полученного из карбонизата и углеводород-окисляющих микроорганизмов. Себестоимость полученного биосорбента на основе карбонизата в ценах 2014 г. составит 102 тыс. руб. за 1 т при инвестиционных издержках 14,6 млн руб.

Предотвращенный экологический ущерб от загрязнения почв химическими веществами составляет 7,8 млн руб./год. Предотвращенный экологический ущерб от размещения избыточного активного ила в виде отходов в окружающей среде составляет 366 тыс. руб./год.

Библиографический список

1. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2013 году [Электронный ресурс] // Природа Пермского края: сайт. – URL: <http://www.permecology.ru/> (дата обращения: 25.01.2015).

2. 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.

3. Рудакова Л.В., Вайсман Я.И., Белик Е.С. Технологические основы получения биосорбента на основе модифицированных углеродсодержащих отходов для очистки нефтезагрязненных почв // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 9. – С. 113–117.

4. Калашникова М.Е., Белик Е.С., Рудакова Л.В. Исследование способов адсорбционной иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на карбонизате // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2013. – Т.1. – С. 76–84.

5. Белик Е.С. Интенсификация технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв с помощью биосорбента на основе карбонизата // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 3 (15). – С. 127–139.

6. Белик Е.С., Рудакова Л.В. Получение биосорбента на основе карбонизата для очистки нефтезагрязненных почв и грунтов // Экология и промышленность России. – 2013. – № 11. – С. 48–52.

7. Давыдов С.Л., Тарасова В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 163 с.

8. Логинов О.Н. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнителей. – Уфа: Реактив, 2000. – 100 с.

9. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. – Ижевск; М.: Институт компьютерных исследований, 2003. – 268 с.

10. Иммобилизованные клетки микроорганизмов / А.П. Синицын, Е.И. Райнина, В.И. Лозинский, С.Д. Спасов. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 288 с.

11. Практикум по микробиологии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Нетрусов [и др.] – М.: Академия, 2005. – 608 с.

12. Биотехнология: учеб. пособие для вузов: в 8 кн. / под ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова. – Кн. 7: Иммобилизованные ферменты / И.В. Березин, Н.Л. Клячко, А.В. Левашев [и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – 159 с.

13. Бейли Дж., Оллис Д. Основы биохимической инженерии: пер. с англ. в 2 ч. – М.: Мир, 1989. – Ч. 1. – 692 с.

14. Бейли Дж., Оллис Д. Основы биохимической инженерии: пер. с англ.: в 2 ч. – М.: Мир, 1989. – Ч. 2. – 590 с.

15. Хаустов А.П., Редина М.М. Экономика природопользования: диагностика и отчетность предприятий. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 216 с.

References

1. O sostoyanii i ob okhrane okruzhaiushchei sredy Permskogo kraya v 2013 godu [On the state of the environment of the Perm region in 2013]. *Priroda Permskogo kraya (sait)*, available at: <http://www.permecology.ru> (accessed 25 January 2015).

2. Vaisman Ya.I., Glushankova I.S., Dyakov M.S., Khodyashev M.B. Ekologicheski bezopasnyi sposob utilizatsii osadkov stochnykh vod biokhimicheskikh ochistnykh sooruzhenij s polucheniem uglerodsoderzhashchikh sorbtionnykh materialov [Environmentally safe method of disposal of sewage sludge biochemical treatment facilities with obtaining carbon sorption materials]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 3, pp. 14–24.

3. Rudakova L.V., Vaisman Ya.I., Belik E.S. Tekhnologicheskie osnovy polucheniya biosorbenta na osnove modifitsirovannykh uglerodsoderzhashchikh otkhodov dlya ochistki neftezagryaznennykh pochv [Technological basis of obtaining biosorbents on the base of modified carbon-containing waste for oil contaminated soils treatment]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2013, no. 9, pp. 113–117.

4. Kalashnikova M.E., Belik E.S., Rudakova L.V. Issledovanie sposobov adsorbtsionnoj immobilizatsii uglevodorodokislyayushchikh mikroorganizmov na karbonizate [Investigation of the adsorption immobilization of microorganisms on hydrocarbon carbonizate]. *Ekologiya i nauchno tekhnicheskij progress. Urbanistika*, 2014, no.1, pp. 76–84.

5. Belik E.S. Intensifikatsiya tekhnologii bioremediatsii neftezagryaznennykh pochv s pomoshchyu biosorbenta na osnove karbonizata [Intensification of bioremediation of oil-contaminated soils with biosorbents on the basis carbonizate]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2014, no. 3 (15), pp. 127–139.

6. Belik E.S., Rudakova L.V. Poluchenie biosorbenta na osnove karbonizata dlya ochistki neftezagryaznennykh [Preparation of biosorbent based carbonizate for cleaning oil-contaminated soil and ground]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2013, no. 11, pp. 48–52.

7. Davydov S.L., Tarasova V.I. Neft i nefteproducty v okruzhayushchej srede [Oil and petroleum products in the environment]. Moscow, 2004. 163 p.

8. Loginov O.N. *Biotekhnologicheskie metody ochistki okruzhayushchej sredy ot tekhnogennykh zagryazniteliy* [Biotechnological methods of cleaning the environment from man-made pollutants]. Ufa: Reactive, 2000. 100 p.

9. Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. *Neftinye sorbenty* [Oil sorbents]. Izhevsk; Moscow: Institut computernykh issledovaniy, 2003. 268 p.

10. Sinitsyn A.P., Rainina E.I., Lozinski V.I., Spasov S.D. *Immobilizovannye kletki mikroorganizmov* [Immobilized microbial cells]. Moskovskiy gosudarstvennyy universitet, 1994. 288 p.

11. Netrusov A.I. [et al.] *Praktikum po mikrobiologii*. [Workshop of the Microbiology]. Moscow: Akademiya, 2005. 608 p.

12. Berezin I.V., Kliachko N.L., Levashev A.V. [et al.] *Immobilizovannye fermenty* [Immobilized enzymes]. *Biotekhnologiya*. Moscow: Vysshaya shkola, 1987. Vol. 7. 159 p.

13. Bejli Dzh., Ollis D. *Osnovy biokhimicheskoy inzhenerii* [Fundamentals of Biochemical Engineering]. Moscow: Mir, 1989. Vol. 1. 692 p.

14. Bejli Dzh., Ollis D. *Osnovy biokhimicheskoy inzhenerii* [Fundamentals of Biochemical Engineering]. Moscow: Mir, 1989. Vol. 1. 590 p.

15. Khaustov A.P., Redina M.M. *Ekonomika prirodopolzovaniya: diagnostika i otchetnost predpriyatij* [Environmental Economics: diagnosis and reporting by enterprises]. Moscow: Izd-vo RUDN, 2002. 216 p.

Получено 1.02.2015

E. Belik

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF PRODUCTION AND USE BIOSORBENTS BASED ON WASTE

As a result of the petrochemical complex system of thermal destruction of excess sludge produced more than 20 tons carbonizate activated sludge. Preparation of new materials from waste products will allow the best use of their resource potential, reduce

the amount of accumulated and placed in the landfill, as well as to minimize the negative impact of waste on the objects of the environment. The paper presents the possibility of using carbonizate, production waste activated sludge biological treatment facilities petrochemical complex, as a carrier for immobilization of microorganisms to produce biosorbents used for environmental technologies. Their mechanical and physical-chemical properties carbonizate meets the requirements to the carrier for immobilization of microorganisms. Schematic flow diagram indicating the biosorbent material flow, process flow diagram of production biosorbent based carbonizate and hydrocarbon-oxidizing microorganisms are submitted. Described a flow diagram indicating the biosorbent material flow, process flow diagram of production biosorbent based carbonizate and hydrocarbon-oxidizing microorganisms. The resulting biosorbent based carbonizate recommended for use in bioremediation of contaminated soils technology. Biosorbent dose of no more than 10 g per 1 kg of oil-polluted soil. Environmental and economic analysis of the production and use of biosorbent are made. The cost price obtained on the basis of biosorbent carbonizate at the 2014 price was 102 thousand rubles per ton at the investment costs of 14.6 million rubles. Prevention of environmental damage from soil contamination by chemicals is of 7.8 million rubles a year. Prevention of environmental damage from the placement of excess sludge in the form of waste into the environment is 366,000 rubles a year.

Keywords: biosorbent based on waste, carbonizate, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, immobilization, bioremediation, ecological and economic analysis.

Белик Екатерина Сергеевна (Пермь, Россия) – ст. преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).

Belik Ekaterina (Perm, Russian Federation) – Senior lecturer, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).