

DOI: 10.15593/2409-5125/2016.03.05

УДК 504.064.45

**Е.С. Белик, К.А. Злобина**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ БИОСОРБЕНТА**

Рассмотрена проблема увеличения образования отходов производства и потребления. В статье отражены данные об объеме образования отходов производства и потребления по Пермскому краю на 2015 г. Одним из способов решения данной проблемы является вторичное использование образующихся отходов, например, в качестве носителей микроорганизмов с целью получения биосорбентов. Проведен анализ существующих биосорбентов на основе отходов производства, применяемых для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов, имеющих различного рода носитель и разнообразный видовой состав микроорганизмов. Представлены экономические, технологические и экологические критерии, предъявляемые к носителям, являющимся отходами производства, для иммобилизации микроорганизмов. Объектом исследования является карбонизат – продукт пиролиза избыточного активного ила биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия, ежегодный объем образования которого составляет более 20 тыс. т. Проведен сравнительный анализ характеристик известных сорбентов-носителей с характеристиками карбонизата. Объект исследования не уступает своим аналогам, что свидетельствует о том, что его можно использовать для иммобилизации углеродородокисляющих микроорганизмов на пористой поверхности носителя с целью получения биосорбента. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтверждают возможность использования карбонизата в качестве носителя для иммобилизации микроорганизмов.

**Ключевые слова:** отходы производства, карбонизат, нефть, биосорбент, иммобилизация микроорганизмов.

В результате развития хозяйственной деятельности предприятия образуют большое количество отходов производства, как в России, так и в Пермском крае. По материалам Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования только в Пермском крае в 2015 г. объем образования отходов производства и потребления составил 41,0 млн т [1]. Большая часть образуемых отходов поступает на специализированные объекты размещения отходов – полигоны, свалки, которые эксплуатируются долгое время

и занимают огромные территории. Вторичное использование отходов производства в качестве новых материалов позволит сократить объемы накопленных и размещаемых на полигоне отходов, а также минимизировать их негативное воздействие на объекты окружающей природной среды. Область применения полученных материалов достаточно разнообразна и зависит от физико-химических характеристик отхода, экономической эффективности, а также экологической безопасности использования.

В результате работы биологических очистных сооружений на одном нефтехимическом предприятии г. Перми ежегодно образуется 285 тыс. т избыточного активного ила. Для уменьшения объема образования данного отхода на предприятии внедрена система термического обезвреживания избыточного активного ила, в результате чего из 1 т данного отхода образуется  $75 \pm 5$  кг твердого остатка, представляющего собой макропористую органоминеральную композицию (карбонизат). Годовой объем образующегося карбонизата, следовательно, будет составлять  $21 \pm 1,5$  тыс. т [2]. Размещение карбонизата в окружающей среде в виде отхода экономически и экологически неэкономично.

Цель данной работы – исследовать возможность использования отхода производства – карбонизата, продукта пиролиза избыточного активного ила нефтеперерабатывающих предприятий, в качестве биосорбента для ликвидации нефтяных загрязнений.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие биосорбенты из отходов, используемых для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов.
2. Выявить критерии, предъявляемые к носителям микроорганизмов, являющимся отходами производства.
3. Обосновать возможность использования карбонизата в качестве носителя для иммобилизации микроорганизмов.

Для ликвидации нефтяных загрязнений применяются различные технологии, отличающиеся по способу деструкции нефтепродуктов (механические, физико-химические, биологические), аппаратному оформлению, длительности процесса, достигаемой эффективности, экономическим затратам.

Распространенным методом очистки от нефтяных загрязнений является биотехнологический, который осуществляется с помощью углеводородокисляющих микроорганизмов. Интенсификация данного способа очистки от нефтяных углеводородов представляет важную экологическую и технологическую задачу. Перспективным направлением по интенсификации очистки объектов окружающей среды от нефти с помощью микроорганизмов является использование биосорбентов, позволяющих повысить эффективность процесса очистки от углеводородов нефти за счет увеличения численности нефтеокисляющих микроорганизмов [3].

Биосорбенты – препараты, изготовленные на основе сорбционного материала (носителя) и иммобилизованных на нем клеток микроорганизмов. В качестве носителя используются различные природные (глины, цеолиты, песок, природные силикаты, карбонаты, фосфаты, перлит, хитин, хитозан, древесина др.) и искусственные материалы (сажа, активные угли, ткани, волокна, а также кирпич, керамика, магнетит и др.) [4–6]. Однако перспективнее использовать отходы производства, их материальный потенциал позволит сократить объемы складироваемых отходов, а также эффективно использовать полученные биосорбенты в природоохранных технологиях, например, в процессах очистки природных вод от нефти и нефтепродуктов.

Анализ патентной и научно-технической информации [7–14] позволил определить биосорбенты, полученные из отходов, применяемых для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов (табл. 1).

На основании изученных литературных данных установлено:

1. В качестве микроорганизмов для иммобилизации используются консорциумы различных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов, так называемые полибактериальные препараты, которые имеют более широкие адаптационные и экологические возможности для использования по сравнению с монобактериальными препаратами.

2. Количество жизнеспособных клеток микроорганизмов, иммобилизованных на поверхности 1 г адсорбента-носителя, определяющееся по разности концентраций клеточной суспензии до и после контакта с адсорбентом (клеточный титр), составляет в большинстве случаев не менее  $10^9$  клеток/г.

3. В большинстве отходами производства, используемыми в качестве носителей для иммобилизации микроорганизмов, являются отходы бурого угля, обладающие сорбционными характеристиками. Биосорбенты на основе бурого угля отличаются высокой степенью очистки, не только от нефти и нефтепродуктов, но и от тяжелых металлов, что объясняется наличием гуминовых кислот в буром угле.

Таблица 1

Биосорбенты из отходов, используемые для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов [7–14]

Биосорбент / производитель	Носитель	Микроорганизмы / клеточный титр (кл/г)	Способ получения
Биор-АВ / МНИИЭКО ТЭК, (г. Пермь, Россия)	Отходы бурого угля	<i>Azotobacterchroococcum</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> / $10^9$	Статический способ
Биосорбент на основе бурого угля / ООО «Уралэкоресурс» (г. Пермь, Россия)	Отходы бурого угля и глина	<i>Pseudomonas fluorescens</i> / $10^{13}$	Статический способ с перемешиванием
БИОРЕК-РА / ООО «Уралэкоресурс» (г. Пермь, Россия)	Отходы бурого угля	<i>Azotobacterchroococcum</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> / $10^{13}$	Статический способ с перемешиванием
Биопрепарат-нефтедеструктор / ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» (г. Санкт-Петербург, Россия)	Биомасса микроорганизмов избыточного ила свиноводческих комплексов	<i>Bacillus cereus</i> $3 \text{ К} / 10^{22}$	Распрыскивание бактериальной суспензии на носитель
Биопрепарат на основе сферозолы / (г. Томск, Россия)	Сферозола – алюмосиликаты, образующиеся при сжигании углей на ТЭЦ	<i>Bacillus cereus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Actinomyces griseus</i> , <i>Act. glaucus</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Ps. mesentericus</i> , <i>Ps. denitrificans</i> , <i>Arthrobacter globiformis</i> / $2,5 \times 10^9$	Статический способ с перемешиванием

Гуминовые кислоты – это специфические высокомолекулярные, полифункциональные, азотсодержащие соединения циклического строения и кислотного характера, которые являются продуктами конденсации ароматических соединений фенольного типа с аминокислотами и протеинами [16, 17]. Общим для этих веществ различного происхождения является наличие ароматического ядра, карбоксильных (-COOH), карбонильных (-COH), метоксильных (-OCH<sub>3</sub>) групп, гидроксильных групп (-OH) спиртового и фенольного характера, а также амидогрупп (-CONH<sub>2</sub>).

Благодаря наличию ионообменных групп, гуминовые кислоты способны эффективно сорбировать углеводороды нефти и нефтепродукты, увеличивать активность почвенной микрофлоры, ускорять процессы деструкции углеводородов и их гумификации – преобразования в почвенный гумус [16, 17].

4. Для получения биосорбентов используют адсорбционный метод иммобилизации микроорганизмов на носителе, который осуществляется статическим способом с перемешиванием. Данный способ достаточно прост и легко осуществим на практике.

Для обоснования возможности использования отходов производства в качестве носителя для микроорганизмов служили результаты аналитических и ранее проведенных экспериментальных исследований, которые позволили выделить основные требования, предъявляемые к носителю. Требования можно разделить на три основные группы: экономические, технологические и экологические.

Использование отходов производства для получения нового материала подразумевает, что стоимость его будет низкая, а в некоторых случаях предприятия готовы отдавать их бесплатно или даже заплатить за вывоз, так как обычно отходы производства складываются на их территории, занимая огромные площади, и предприятию приходится платить деньги за размещение отходов в окружающей среде. Влиять на себестоимость готового продукта будут затраты на транспортировку отходов до места производства биосорбента.

Технологические требования условно можно разделить на две подгруппы:

1) параметры, которые влияют на эффективное закрепление микроорганизмов на твердой поверхности носителя: достаточная

проницаемость для микроорганизмов (пористость, объем макропор и пр.), высокая гидрофильность;

2) параметры, обеспечивающие удобное использование полученного материала в дальнейшем, например, для очистки воды от нефтяного загрязнения (высокая прочность на истирание, возможность получения в виде удобных в технологическом отношении форм).

Немаловажным для материала, полученного из отходов производства и используемого в качестве носителя для микроорганизмов, является значение показателя экологической безопасности отхода, которое устанавливается по степени его возможного негативного воздействия на окружающую среду.

Выполнение всех перечисленных выше требований позволит получить биосорбент, эффективный в использовании и экономически приемлемый по стоимости.

Объектом исследования является карбонизат – отход низкотемпературного пиролиза избыточного активного ила биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия (рисунок). По данным М.С. Дьякова, карбонизат имеет следующие технические характеристики: насыпная плотность –  $385 \text{ г/дм}^3$ , водопоглощение –  $61,5 \%$ , продуктопоглощение (нефте- и маслосодержательность) –  $0,35\text{--}0,55 \text{ г/г}$ , механическая прочность на истирание –  $50 \%$ . Материал не фитотоксичен, имеет 4-й класс опасности [2].

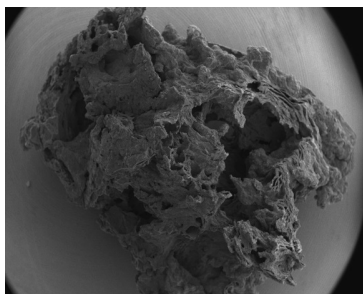


Рис. Карбонизат избыточного активного ила  
(увеличение  $\times 9$  раз)

Для оценки способности материала к иммобилизации клеток микроорганизмов определяли значения удельной поверхности и пористости с помощью прибора «SorbiPrep». Удельная поверх-

ность карбонизата составила  $39,3 \pm 0,6$  м<sup>2</sup>/г, суммарный объем пор – 0,6 см<sup>3</sup>/г, объем макропор – 0,544 см<sup>3</sup>/г. Сравнительный анализ сорбентов-носителей с карбонизатом – продуктом пиролиза избыточного активного ила представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика свойств карбонизата с сорбентами-носителями микроорганизмов [4]

Носитель	Влагоем- кость, см <sup>3</sup> /г	Удельная поверх- ность, м <sup>2</sup> /г	Общая по- ристость, см <sup>3</sup> /г	Объем мак- ропор, см <sup>3</sup> /г	Радиус пор, нм
<i>Углеродные и органические зерновые материалы</i>					
АГ-ПР	0,26	900	0,95	0,55	5500
Нефтекокс	0,05	0,03	0,98	0,93	5000
Сансорб	0,24	2	1,22	0,83	800
Шунгизит	0,001	0,4	0,31	0,10	50
Торф	0,16	0,03	0,32	0,13	500
<i>Неорганические зерновые материалы</i>					
Керамзит	0,01	0,04	0,64	0,54	800
Газобетон	0,12	28	0,32	0,20	25
Перлит	0,05	1	3,21	2,90	800
Вермикулит	0,07	2,2	0,92	0,15	500
Лава	0,004	0,3	0,01	0,01	200
Бентонит	0,15	30	0,86	0,65	4000
<i>Волокнистые материалы</i>					
Нетканый углеродный сорбент	0,29	1200	0,53	0,28	2500
Вискозная лента	0,33	3	1,04	0,86	4000
Полипропи- леновое во- локно	0,49	288	0,75	0,06	2500
Лавсан	0,23	0,6	9,85	9,60	4000
<i>Отход производства</i>					
Карбонизат	0,6	39,3	0,6	0,544	Нет данных

По своим характеристикам (удельная поверхность, общая пористость, объем макропор) карбонизат аналогичен характеристикам бентонита и газобетона, по объему макропор аналогичен таким носителям, как АГ-ПР, сансорб.

Эффективность иммобилизации живых клеток и формирование микробиоценоза на поверхности носителя подтверждается значением величины клеточного титра [4]. Формирование микробиоценоза на поверхности носителя напрямую зависит от природы носителя и микроорганизмов, используемых для иммобилизации. Правильно подобранный носитель благоприятно влияет на активную жизнедеятельность микроорганизмов, иными словами, способствует стимулированию микробного метаболизма, выполняет защитную функцию для живых клеток от неблагоприятных условий среды и помогает сохранить биохимическую активность иммобилизованных микроорганизмов.

На основании справочника химика-технолога в табл. 3 показана зависимость клеточного титра от свойств носителя.

Таблица 3

Зависимость клеточного титра от применяемого носителя [4]

Носитель	Клеточный титр, клеток/мл		
	<i>Acinetobacter sp.</i>	<i>Bacillus mucilaginosus</i>	<i>Rhodococcus sp.</i>
<i>Углеродные и органические зерновые материалы</i>			
АГ-ПП	$10^3$	$10^5$	–
Нефтекоккс	$10^3$	$10^4$	–
Сансорб	$10^5$	–	–
Шунгизит	$10^3$	–	–
Торф	$10^7$	–	–
<i>Неорганические зерновые материалы</i>			
Керамзит	$10^3$	–	–
Газобетон	$10^3$	$10^7$	–
Перлит	$10^5$	–	–
Вермикулит	$10^8$	$10^7$	–
Лава	$10^3$	–	–
Бентонит	–	$10^7$	–
<i>Волокнистые материалы</i>			
Нетканый углеродный сорбент	–	–	$6 \cdot 10^7$
Вискозная лента	–	–	$10 \cdot 10^7$
Полипропиленовое волокно	–	–	$7 \cdot 10^7$
Лавсан	–	–	$0,5 \cdot 10^7$

В табл. 3 представлены нефтеокисляющие клетки микроорганизмов *Acinetobacter sp.*, *Rhodococcus sp.*, *Bacillus mucilaginosus*.



*Bacillus mucilaginosus* представляют собой слизистые палочки, имеют палочковидную форму размером 4–7 на 1,2–1,4 мкм, в результате неблагоприятных условий образуют споры, грамотрицательные, являются аэробами и нефтедеструкторами.

*Acinetobacter sp.* – группа коринеморфных бактерий, палочковидной формы размером 1–1,5 мкм, способ размножения – деление, грамотрицательные, также являются аэробами и нефтедеструкторами.

*Rhodococcus sp.* относятся к акциномицентной линии прокариот, имеют шаровидную или палочковидную форму, в зависимости от условий их произрастания. Размер клеток составляет 1,5 мкм, размножение – деление, грамотрицательные, являются аэробами, способны окислять нерастворимые в воде углеводороды.

Данные, представленные в табл. 2 и 3, позволяют оценить значение каждого свойства носителя в формировании клеточного титра.

Наибольшую эффективность иммобилизации представляет значение объема макропор, от которого будет зависеть успешность результата адсорбции живых клеток микроорганизмов на пористой поверхности носителя.

Количество закрепленных на поверхности носителя клеток также зависит от степени гидрофильности поверхности материала. Данную закономерность можно объяснить тем, что иммобилизация происходит в водной среде, следовательно, все клетки находятся в гидратированном состоянии. Вследствие этого между сильно гидрофобной поверхностью материала и гидратированной поверхностью клетки начинается отталкивание, что мешает закреплению бактериальных клеток. Поэтому наблюдается слабая иммобилизация микроорганизмов на шунгизите, керамзите, обожженной глине, лаве, перлите, коксах. Напротив, при более высокой степени гидратации поверхности материала появляется гидратный барьер. Этим можно объяснить слабую адсорбцию бактериальных клеток на угле АГ-ПР и сансорбе.

Эффективность иммобилизации будет также определяться свойством поверхности клетки. Например, *Acinetobacter sp.* и *Bacillus mucilaginosus* являются гидрофильными клетками, а *Rhodococcus sp.* более гидрофобны. Гидрофобные клетки стре-

мятся вести прикрепленный образ жизни, поэтому они лучше закрепляются на поверхности материала.

Кроме того, на эффективность иммобилизации влияют такие факторы, как заряд поверхности клетки и носителя, а также соотношение размеров клеток микроорганизмов и размеров пор. Например, отрицательно заряженные клетки *Bacillus mucilaginosus* стремятся к иммобилизации на положительно заряженных поверхностях материала. Поэтому их эффективность иммобилизации выше на положительно заряженных поверхностях бентонита, газобетона, нефтекокса, чем клеток *Acinetobacter sp.*, которые стремятся к отрицательно заряженным поверхностям носителя.

Иммобилизация клеток зависит от типа размножения клеток, а также от радиуса пор носителя. Для клеток, размножающихся делением, оптимальный радиус пор носителя в 2–5 раз больше размера клеток. Для спорообразующих клеток оптимальный радиус пор соизмерим с размером клетки или в 4 раза больше его.

Если клетки по размеру меньше, чем пора носителя, то закрепление возможно благодаря морфологическим характеристикам микроорганизмов (жгутики, мицелии, выросты и т.д.).

В результате сравнения физических свойств карбонизата и аналогичных сорбентов-носителей (бентонит, газобетон, АГ-ПР, сансорб), применяемых на рынке, карбонизат не уступает своим аналогам, что свидетельствует о том, что его можно использовать для иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на пористой поверхности носителя с целью получения биосорбента. На данных носителях закреплялись клетки микроорганизмов *Acinetobacter sp.* ( $10^3$ – $10^5$  кл/мл), *Bacillus mucilaginosus* ( $10^5$ – $10^7$  кл/мл) и не закреплялись *Rhodococcus sp.* Следовательно, закрепление данных углеводородокисляющих микроорганизмов на карбонизате теоретически возможно.

Были проведены экспериментальные исследования по иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на поверхности карбонизата. Для выделения углеводородокисляющих микроорганизмов использовалась сильно загрязненная почва с содержанием нефтепродуктов  $100 \pm 15$  г/кг. Биосорбент получали методом физической адсорбционной иммобилизации с перемешиванием карбонизата в культуральной суспензии микроорганиз-

мов в течение 2 ч. Эффективность закрепления определяли по значению клеточного титра, и в данном эксперименте  $T_k$  составил  $10^7$  клеток/г носителя, что свидетельствует о закреплении микроорганизмов на поверхности карбонизата.

Для получения биосорбента на основе карбонизата, используемого для эффективной ликвидации нефтяных загрязнений, необходимо подобрать оптимальный консорциум микроорганизмов, обеспечивающий наибольшее закрепление последних в порах носителя.

На основании вышесказанного можно сделать выводы:

1. Для интенсификации биотехнологических способов очистки от нефти и нефтепродуктов используют биосорбенты – препараты, изготовленные на основе сорбционного материала (носителя) и иммобилизованных на нем клеток микроорганизмов. Проведен анализ существующих биосорбентов на основе отходов производства, применяемых для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов, имеющих различного рода носитель и разнообразный видовой состав микроорганизмов.

2. Определены требования, предъявляемые к носителям, изготовленным на основе отходов производства: экономические (стоимость), технологические (достаточная проницаемость для микроорганизмов, высокая гидрофильность и др.) и экологические (безопасность).

3. Продукт пиролиза избыточного активного ила биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего мероприятия – карбонизат имеет технологические характеристики (пористость, удельная поверхность, высокая гидрофильность, высокая прочность на истирание), характерные для носителя микроорганизмов. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтверждают возможность использования карбонизата в качестве носителя для иммобилизации микроорганизмов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00424 мол\_а.*

### Библиографический список

1. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2015 году [Электронный ресурс] // Природа Пермского края (сайт). – URL: <http://www.permecology.ru/> (дата обращения: 16.07.2016).
2. Дьяков М.С. Разработка технологии термоэнергетического обезвреживания избыточного активного ила нефтеперерабатывающих предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2009. – 17 с.
3. 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.
4. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – СПб: Мир и Семья, 2002. – Ч. I. – 988 с.
5. Морозова Т.Н., Белик Е.С., Рудакова Л.В. Использование бактериального препарата для ремедиации техногенно загрязненных почв // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2015. – № 3. – С. 69–81.
6. Имобилизованные клетки микроорганизмов / А.П. Синицын, Е.И. Райнина, В.И. Лозинский, С.Д. Спасов. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 288 с.
7. Пат. 2290270 РФ, МКИ В09С1/10, С12N1/26. Способ биологической ремедиации нефтезагрязненных почв / А.П. Красавин, И.В. Катаева, Г.А. Оборин, А.П. Вяткин, В.А. Сергеев, О.А. Ерушина, В.А. Фусс. – Опубл. 27.12.2006.
8. Пат. 2181933РФ, МКИ А01В79/02, В09С1/10. Способ рекультивации токсичных земель, нарушенных при добыче угля / А.П. Красавин, И.В. Катаева, Г.А. Оборин, А.В. Берников. – Опубл. 10.05.2002.
9. Пат. 2529771 РФ, МПК С02F3/34, С02F1/28, С12N11/02. 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. – Опубл. 27.09.2014.
10. Ковальчук Е.А. Биосорбент для ликвидации нефти с поверхности водоемов // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15 [Спец. вып. XVIII конгресс «Экология и здоровье человека»]. – С. 1817–1819.
11. 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).
12. Галкина Н.А. Детоксикация загрязненных нефтью земель с использованием препарата БИОРЕК-РА // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15 [Спец. вып. XVIII конгресс «Экология и здоровье человека»]. – С. 1753–1755.
13. Пат. 2319740 РФ, МПК С12N1/20, В09С1/10, С02F3/34. Биопрепарат-нефтедеструктор / И.А. Архипченко, В.К. Загвоздкин, И.А. Заикин, В.Г. Иванов, В.Н. Лукашев. – Опубл. 20.03.2008.

14. Пат. 2361686 РФ, МПК В09С1/10, С02F3/34, С12N1/26. Биопрепарат для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов / Л.И. Сваровская, С.И. Писарева, Л.К. Алтунина. – Опубл. 20.07.2009.

15. Сваровская Л.И., Алтунина Л.К. Биопрепарат для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов // Вода: химия и экология. – 2011. – № 8. – С. 55–60.

16. Салеем Кайд Мохаммед Абдулла. Использование гуминовых препаратов для детоксикации и биодеградации нефтяного загрязнения: дис. ... канд. хим. наук. – М., 2004. – 106 с.

17. Разработка технологии ремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов с использованием гуминового препарата «Гумиком» / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, Л.В. Рудакова, В.В. Куми, И.П. Токарев // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 10. – С. 128–131.

## References

1. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchej sredy Permskogo kraja v 2015 godu [Condition and protection of the environment Perm Territory in 2015]. *Priroda Permskogo kraja*, available at: <http://www.permecology.ru> (accessed 16 July 2016).

2. D'iakov M.S. Razrabotka tekhnologii termoenergeticheskogo obezvezhivaniya izbytochnogo aktivnogo ila neftepererabatyvaiushchikh predpriyatij [Development of technology of thermal energy the disposal of surplus active sludge of oil refineries]. Abstract of the thesis of the candidate of technical sciences. Perm', 2009. 17 p.

3. Zhdanova E.S., Rudakova L.V. Obosnovanie vozmozhnosti polucheniya biosorbentov dlia likvidatsii nefitynykh zagryaznenij prirodnykh ob'ektov [Study the possibility of obtaining biosorbents for elimination of oil pollution of natural objects]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 3, pp. 97–107.

4. 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.

5. Morozova T.N., Belik E.S., Rudakova L.V. Ispol'zovanie bakterial'nogo preparata dlya remediatsii tekhnogenno zagryaznennykh pochv [The use of the bacterial preparation for remediation of industrially polluted soils]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2015, no. 3, pp. 69–81.

6. 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.

7. Krasavin A.P., Kataeva I.V., Oborin G.A., Vyatkin A.P., Sergeev V.A., Erushina O.A., Fuss V.A. Sposob biologicheskoy remediatsii neftezagryaznennykh pochv [Method of biological remediation of oil-polluted lands]. Patent No. 2290270 RF. 2006.

8. Krasavin A.P., Kataeva I.V., Oborin G.A., Bernikov A.V. Sposob rekul'tivatsii toksichnykh zemel', narushennykh pri dobyche uglya [Method of remediation of toxic lands disturbed for coal mining]. Patent No. 2181933 RF. 2002.

9. 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 nefiti s

poverkhnosti vodoemov [Biosorbent for elimination of crude oil from water surface]. Patent No. 2529771 RF. 2014.

10. Koval'chuk E.A. Biosorbent dlya likvidatsii nefi s poverkhnosti vodoemov [Biosorbent for elimination of crude oil from water surface]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. Spetsial'nyi vypusk. XVIII kongress «Ekologiya i zdorov'e cheloveka»*, 2013, vol. 15, pp. 1817–1819.

11. ООО «Uralekoresurs» – obezvrezhivanie opasnykh otkhodov. Rekul'tivatsionnye raboty. Zachistka rezervuarov ot otkhodov i osadkov [ООО Uralekoresurs – disposal of hazardous waste. Reclamation work. The tank cleaning from waste and sediments]. *Biopreparat BIOREK-RA*, available at: <http://www.uer.su/biopreparat-biorek-ra> (accessed 12 July 2016).

12. Galkina N.A. Detoksikatsiya zagryaznennykh nef'tyu zemel' s ispol'zovaniem preparata BIOREK-RA [Detoxification of oil-polluted lands using the drug BIOREK-RA]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. Spetsial'nyi vypusk. XVIII kongress «Ekologiya i zdorov'e cheloveka»*, 2013, vol. 15, pp. 1753–1755.

13. Arkhipchenko I.A., Zagvozdkin V.K., Zaikin I.A., Ivanov V.G., Lukashev V.N. Biopreparat-neftedestruktor [Biopreparation-neftegastruba]. Patent No. 2319740 RF. 2008.

14. Svarovskaya L.I., Pisareva S.I., Altunina L.K. Biopreparat dlya ochistki pochvy i vody ot nef'ti i nefteproduktov [Biopreparation for cleaning soil and water from oil and oil products]. Patent No. 2361686 RF. 2009.

15. Svarovskaya L.I., Altunina L.K. Biopreparat dlya ochistki pochvy i vody ot nef'ti i nefteproduktov [Biopreparation for cleaning soil and water from oil and oil products]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 8, pp. 55–60.

16. Saleem Kaid Mokhammed Abdulla. Ispol'zovanie guminovykh preparatov dlya detoksikatsii i biodegradatsii nef'tyanogo zagriazneniya [The use of humic substances for detoxification and biodegradation of oil pollution]. Ph.D. thesis. Moscow, 2003. 106 p.

17. Vajsman Ia.I., Glushankova I.S., Rudakova L.V., Kumi V.V., Tokarev I.P. Razrabotka tekhnologii remediatsii neftezagryaznennykh pochv i gruntov s ispol'zovaniem guminovogo preparata «Gumikom» [Development of technology for remediation of oil-contaminated soil using humic preparation "Gumikom"]. *Neftyanoe khozyajstvo*, 2013, no. 10, pp. 128–131.

**Получено 14.06.2016**

**E. Belik, K. Zlobina**

## **STUDYING THE POSSIBILITY OF USING PRODUCTION WASTE AS BIOSORBENTS**

This article addresses the problem of increasing waste production and consumption. It provides data on the volume of waste production and consumption in Perm region in 2015. One way to solve this problem is a secondary use of wastes, for example, as carriers of microorganisms with the aim of obtaining biosorbents. The analysis of existing biosorbents based on waste production that are used for water and soil treatment to get rid of oil and petroleum products having different kinds of media and a diverse combination of microorganisms. The article presents a detailed economic, technological and ecological criteria applicable to the carrier agent (production wastes) for the immobilization of microorganisms. Carbonizate is the target of the research which is a product of pyrolysis of the surplus activated sludge in biological treatment plants of oil refining factories; the annual volume of it amounts to more than 20 thousand tons. A comparative analysis of characteristics related to the available sorbents-carriers with the characteristics of carbonizate was conducted. The target of the study is competitive with its analogues which indicates that it can be used for the immobilization of hydrocarbon-oxidizing microorganisms on the porous surface of a carrier in order to get a biosorbent. The theoretical and experimental studies prove that the carbonizate can be used as a carrier for immobilizing microorganisms.

**Keywords:** production waste, carbonizate, oil, biosorbent, immobilization of microorganisms.

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

*Злобина Ксения Александровна (Пермь, Россия) – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: zlobina.kseniya@yandex.ru).*

*Belik Ekaterina (Perm, Russian Federation) – PhD, Associate Professor of Department of Environment, Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).*

*Zlobina Kseniya (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, e-mail: zlobina.kseniya@yandex.ru).*