

УДК 504.53.054+628.516:628.355

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

¹Лобачева Г.К., ²Карпов А.В., ¹Кайргалиев Д.В.

¹ФГКОУ ВО «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
Волгоград, e-mail: volakdm@va-mvd.ru;

¹ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка, Волгоград, e-mail: lobachevagalina@mail.ru

В данной публикации представлены результаты разработки новой технологии экоремедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона твердых промышленных отходов. Разработана технология экоремедиации техногенно-нарушенных земель зоны воздействия ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», включающая два этапа биоремедиации: вермикулит и перлит и фиторемедиации почв (сахарное сорго). Авторами осуществлена апробация новой технологии экологической ремедиации техногенно-нарушенных земель, отличающихся применяемыми препаратами, один на основе вермикулита, другой – перлита, выявлено, что технология экоремедиации земель с применением препарата на основе вермикулита (биоремедиационный этап) и сахарного сорго (фиторемедиационный этап) более эффективна на всех участках с разным уровнем загрязнения углеводородами. Представлены результаты применения компьютерной программы «PTC Mathcaol 14.0», моделирования процесса биоремедиации и фиторемедиации техногенно-нарушенных земель. Представлены функции прогнозирования поведения экосистемы при реализации технологии экологической ремедиации нефтезагрязненных земель. Реализация разработанной технологии экологической ремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами, территории размещения полигона ТПО, включающей этап биоремедиации (препарат на основе вермикулита) и фиторемедиации (сахарное сорго), позволит получить эколого-экономический эффект в размере 262 661 660 рублей (1220,66 рублей на 1 м² площади).

Ключевые слова: экоремедиация, нефть, нефтепродукты, полигон, компьютерная программа, математическое моделирование, эколого-экономический эффект

APPLICATION OF TECHNOLOGY ECOREMEDIATION CONTAMINATED LANDS

¹Lobacheva G.K., ²Karpov A.V., ¹Kayrgaliev D.V.

¹Federal State Public Education Establishment of Higher Training «Volgograd Academy of the Ministry of the Interior of the Russian Federation», Volgograd, e-mail: volakdm@va-mvd.ru;

²LUKOIL-Volgogradneftepererabotka, Volgograd, e-mail: lobachevagalina@mail.ru

This publication presents the results of development new technology ecoremediation contaminated lands territory placement of industrial solid waste landfill. Developed technology ecoremediation technogenically disturbed land footprint ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», includes two stages of bioremediation: vermiculite and perlite phytoremediation of soils (sweet sorghum). Performed testing new technology. The authors have carried out testing of the new technology of environmental remediation of technogenic disturbed lands, other than to use the drug, one on the basis of vermiculite, another – perlite, revealed that the technology ecoremediation land using the drug on the basis of vermiculite (bioremediation stage) and sweet sorghum (phytoremediation stage) is more effective in all areas with different levels of hydrocarbon pollution. The results of application of the computer program «PTC Mathcaol 14.0», modeling process bioremediation and phytoremediation technogenically disturbed lands. Presented forecasting functions behavior of ecosystems in the implementation of technology environmental remediation of contaminated lands. Implementation of the technology of environmental remediation of land contaminated by petroleum products, placement of the landfill site ТПО, comprising the steps of bioremediation (preparation based on vermiculite) and phytoremediation (sweet sorghum), will provide ecological and economic benefits in the amount of 262,661,660 rubles (1220.66 rubles per 1 m²).

Keywords: ecoremediation, oil, petroleum products, polygon, computer software, mathematic modeling, ecological and economic effect

Биоремедиация земель, загрязненных нефтепродуктами, территории размещения полигона твердых промышленных отходов также осуществлялась по методу *in situ*, содержание нефтепродуктов в них соответствует 2-ому уровню загрязнения земель (низкий), но превышает ПДК вещества в почве [1, 2].

В табл. 1 и 2 представлены результаты физико-химических анализов проб почвы контрольной зоны и территории размещения полигона твердых промышленных отходов ТПО в течение проводимых исследований.

Проанализировав экспериментальные данные процесса биоремедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО, на которых применялись препараты на основе вермикулита и перлита, авторы выбрали в качестве функции, аппроксимирующей изменение концентрации нефтепродуктов в почве по времени, функцию

$$C(t) = \frac{a}{1 + b \cdot t}, \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты регрессии, которые далее были получены в *Mathcad* с использованием функции *genfit*.

Таблица 1

Результаты физико-химического анализа проб почвы контрольной зоны

Сутки	рН	Влажность, %	Концентрация нефтепродуктов в почве, мг/кг
			усредненные значения
0	8,6	1,1	208,3
1	–	–	187
24	8,2	1,1	189

Таблица 2

Результаты процесса биоремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами, территории размещения полигона твердых промышленных отходов

Препарат	Сутки	Концентрация нефтепродуктов в почве, мг/кг	рН	Влажность, %
		усредненные значения		
на основе вермикулита	0	1559,3	8,3	1,06
	1	802	–	–
	6	496		
	12	172,6		
	18	68,6		
	24	57,3	8,1	1,03
на основе перлита	0	1559,3	8,3	1,06
	1	880	–	–
	6	498,3		
	12	252		
	18	129,3		
	24	106,3	8,19	1,04

Таблица 3

Параметры регрессии для процесса биоремедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО

Препарат	a	b	R
на основе вермикулита	1528	0,677	0,98
на основе перлита	1528	0,677	0,99

Предложенная функция (1) достаточно хорошо коррелирует со всеми данными – коэффициент корреляции $R \geq 0,98$. В табл. 3 представлены значения найденных параметров для территории размещения полигона ТПО, где применялись препараты на основе природных минералов [1–7].

Параметр a непосредственно связан с начальной концентрацией нефтепродуктов в почве, а параметр b характеризует скорость биоремедиации земель. В представленных результатах можно отметить некоторую особенность: наибольшая скорость биоремедиации наблюдается на территории размещения полигона ТПО, где начальная скорость загрязненности больше, чем на территории размещения СЗЗ, но гораздо меньше, чем на территории размещения комплекса очистных сооружений. Этот факт

можно объяснить существованием наиболее оптимальных экологических условий на территории размещения полигона ТПО для нефтеокисляющих микроорганизмов, присутствующих в разработанных препаратах.

На рис. 1 представлены результаты измерений и аппроксимирующие функции в различных вариантах.

$$C(t) = \frac{1528}{1 + 0,667 \cdot t} \quad (2)$$

$$C(t) = \frac{1528}{1 + 0,667 \cdot t} \quad (3)$$

На территории размещения полигона ТПО мы получили полное совпадение функций (рис. 1), описывающих изменение концентрации нефтепродуктов в почве

и при использовании препарата на основе вермикулита, и на основе перлита, что следует из равенства соответствующих коэффициентов (см. табл. 3).

Экспериментальные данные свидетельствуют о большей эффективности препарата на основе вермикулита, применяемого при осуществлении биоремедиационного этапа технологии экологической ремедиации нарушенных земель. Скорости процессов биоремедиации нефтезагрязненных земель совпадают на участках, где применялись два вида препарата.

Этап фиторемедиации техногенно-нарушенных земель [1–10].

Для оценки эффективности биоремедиационного этапа технологии экологической ремедиации техногенно-нарушенных земель применялся метод биотестирования. В качестве тест-культур использовано сахарное сорго (*Sorghum saccharatum*).

В случае фиторемедиации, когда в качестве растения для очистки почвы использовалось сахарное сорго (*Sorghum*

saccharatum), по результатам проведенных измерений и после регрессионного анализа, в качестве функции, аппроксимирующей зависимость высоты стебля от времени, мы выбрали степенную функцию

$$H(t) = at^b. \quad (4)$$

Кроме того, выбор обусловлен и тем, что коэффициент корреляции $r \geq 0,96$. Как и в опыте биоремедиации, коэффициенты a и b были найдены в *Mathcad*.

Далее представлен график данных измерений и аппроксимирующих функций территории размещения полигона ТПО, где применялись препараты (на основе вермикулита, перлита и контрольная зона – территория без внесения препаратов) (рис. 2).

$$H(t) = 0,2 \cdot t^{1,24}$$

(препарат на основе вермикулита), (5)

$$H(t) = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot t^{4,2}$$

(препарат на основе перлита). (6)

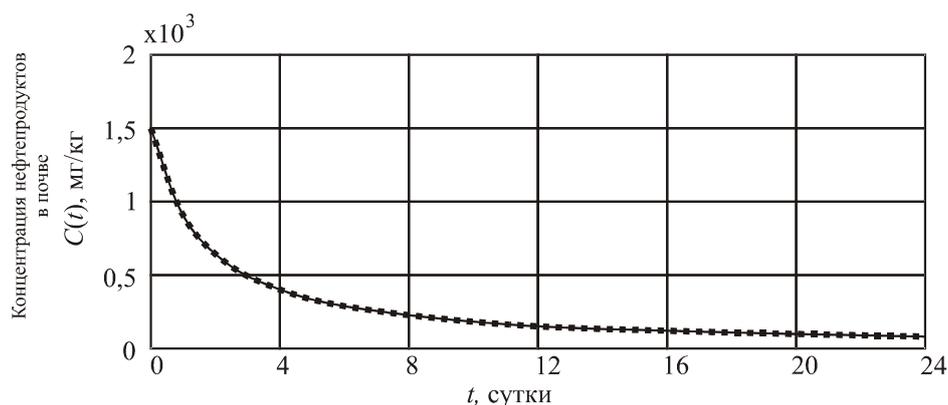


Рис. 1. Влияние препаратов на концентрацию нефтепродуктов в почве территории размещения полигона ТПО (сплошная линия – препарат на основе вермикулита, точки – препарат на основе перлита)

Таблица 4

Усредненные значения физиологических показателей исследуемой культуры

Физиологические показатели сахарного сорго	Сутки	Контрольная зона	Территория размещения полигона ТПО	
			применение препарата на основе вермикулита	применение препарата на основе перлита
Высота стебля, см	1	0,23	0,5	0,3
	5	1,1	2,1	0,5
	10	1,73	3,6	1,7
	15	3,73	4,5	1,46
	20	5,7	8,73	7,0
Вегетационная биомасса, г	25	2,0	4	2,5
Длина корня, см	30	3,2	8,5	3,76

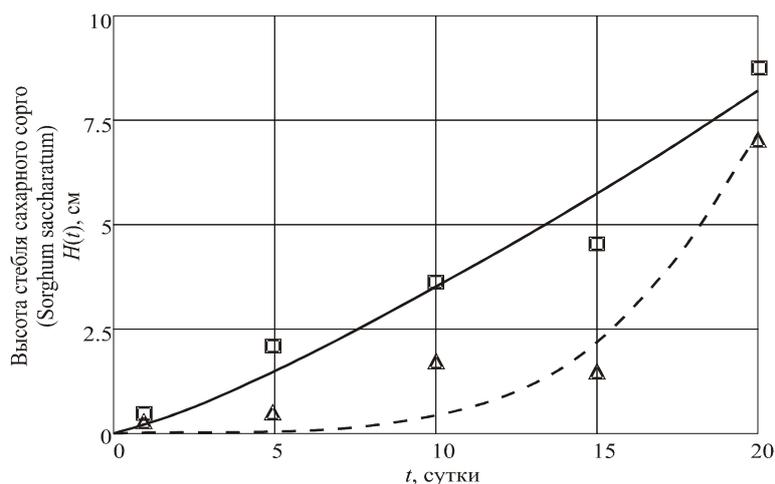


Рис. 2. Данные измерений и аппроксимирующие функции процесса фиторемедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО с внесенными препаратами на основе вермикулита – (□ и сплошная линия) и перлита – (Δ и пунктирная линия)

Проанализировав представленные данные, можно сделать вывод, коэффициент $b > 1$, что характеризует *постоянный рост* (увеличение ежедневного прироста) культуры.

Сахарное сорго (*Sorghum saccharatum*), выбранная нами тест-культура, действительно, подтвердила эффективность применения препарата на основе вермикулита для биоремедиации нефтезагрязненных земель. Свидетельством этого являются данные из табл. 4, из которой следует, что высота стебля достигла максимального значения 8,73 см на участке с применением препарата на основе вермикулита. На рис. 2 виден реальный рост сахарного сорго (*Sorghum saccharatum*), а не угнетение культуры. Данные свидетельствуют об эффективности фиторемедиационного этапа технологии экологической ремедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО. Технология экологической ремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами, позволила со 2-го (низкого) уровня загрязнения почв снизить концентрацию нефтепродуктов до 1-го (допустимого) уровня загрязнения, т.е. проведена детоксикация техногенно-нарушенных земель.

Ремедиатор [10] относится к охране окружающей среды и может быть использован для ремедиации нефтешламов, для очистки почвогрунта от загрязнений нефтепродуктами во всех областях промышленности, связанных с переработкой, транспортировкой или хранением нефти и нефтепродуктов, а также при ликвидации

последствий аварий или катастроф, в работе правоохранительных органов – экологической полиции – при расследовании хищений нефтепродуктов и разливов нефти.

В настоящее время в технологиях ремедиации нефтезагрязненных почвогрунтов (НЗП) использование ремедиаторов биостимуляции является более предпочтительным по ряду обстоятельств, в первую очередь экономических, а в некоторых случаях, единственно возможным. Важным этапом при этом является подбор ремедиаторов для идентификации функциональной активности природных микробных ценозов и особенно группы углеокисляющих микроорганизмов (УОМ).

Наиболее близким, взятым нами за прототип, является препарат для биологической очистки грунта нефтешламов, жидких отходов и сточных вод от органических соединений и нефтепродуктов и способ его применения (Патент № 2367530 МПК ВО9С 1/10 CO2F3/34, CO2F1/28 опубл. 20.09.2009.).

Препарат содержит глауконитсодержащее вещество – 88,98–93,45%, биологически активный ил – 1–1,5 мас.%, стимулятор роста – янтарную кислоту – 0,01–0,05 мас.% и воду – 10,1 мас.%. Способ детоксикации загрязненного грунта, нефтешламов, сточных вод и жидких отходов включает внесение препарата и обеспечение условий жизнедеятельности микрофлоры при температуре 16–35°C. Недостатком описанного препарата для биологической очистки грунта нефтешламов является большой расход природного глауконитсодержащего вещества,

50–500 г на 1 кг нефтешлама, стоимость которого очень высока – более 500 руб. за кг, низкая сорбционная способность препарата.

Технический результат – повышение эффективности очистки нефтезагрязненных грунтов путем увеличения активирующей способности за счет увеличения пористости грунта и повышения гумфикации грунта, то есть увеличение гумуса в почве. Указанный технический результат достигается тем, что в качестве ремедиатора для очистки нефтезагрязненных почвогрунтов на основе биологически активного ила используется органоминеральный комплекс – носитель углерода, азота и фосфора в соотношении 100:1:3, представляющего собой минерально-органическую матрицу многомерной ячеистой структуры с размером ячеек 60–200 нм в виде сыпучего порошка, полученного механической, овицидной и реагентной обработкой осадков сточных вод и активного ила, содержащего бактериальную микрофлору.

Ремедиатор для очистки нефтезагрязненных грунтов успешно прошел испытания на площадках нефтеперерабатывающего завода «Лукойл-Волгограднефтепереработка», рекомендован для внедрения в производство для решения экологических проблем самого завода для очистки шламо-накопителя и успешного решения утилизации отходов Водоканала, после их специальной обработки.

Реализация разработанной технологии экологической ремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами, территории размещения комплекса очистных сооружений, включающей этап биоремедиации (препарат на основе вермикулита) и фиторемедиации (сахарное сорго), позволит получить эколого-экономический эффект в размере 277 619 750 рублей (334,48 рублей на 1 м² площади).

Реализация разработанной технологии экологической ремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами, территории раз-

мещения полигона ТПО, включающей этап биоремедиации (препарат на основе вермикулита) и фиторемедиации (сахарное сорго), позволит получить эколого-экономический эффект в размере 262 661 660 рублей (1220,66 рублей на 1 м² площади).

Список литературы

1. Заявка на изобретение № 2013153524 от 03.12.2013 г. Ремедиатор для очистки нефтезагрязненных почвогрунтов на основе биологически активного ила / Г.К. Лобачева, Т.Ю. Клопова, О.П. Чадов, Н.В. Павличенко, Р.Р. Вартанов, А.А. Курин, А.В. Карпов.
2. Карпов А.В. Природные геохимические барьеры – факторы предотвращения химического загрязнения подземных вод / А.В. Карпов, Г.К. Лобачева, Н.В. Колодницкая // Вода: химия и экология. – 2012. – № 11. – С. 3–9.
3. Колодницкая Н.В. Экологическая оценка состояния почвенного покрова на территории размещения комплекса очистных сооружений Волгоградского нефтеперерабатывающего завода / Н.В. Колодницкая, А.С. Овчинников, А.В. Карпов // Экология России: на пути к инновациям. – 2012. – № 6. – С. 164–166.
4. Колодницкая Н.В. Новая технология биологической очистки загрязненной почвы – усиленное биовосстановление на месте (in situ) препаратом на основе природного сорбента / Н.В. Колодницкая, Г.К. Лобачева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6(27). – С. 190–194.
5. Лобачева Г.К. Рекультивация техногенно-нарушенных земель и инженерно-мелиоративные подходы к формированию озеленительных территорий для оздоровления окружающей среды / Г.К. Лобачева, И.А. Заикин, А.В. Карпов [и др.]. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2012. – С. 390.
6. Лобачева Г.К. Способ создания биохимических барьеров путем рекультивации земель, загрязненных продуктами нефтепереработки / Г.К. Лобачева, [и др.]. // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2012. – № 6. – С. 119–133.
7. Лобачева Г.К. Способ создания биохимических барьеров путем рекультивации земель, загрязненных продуктами нефтепереработки / Г.К. Лобачева, А.В. Карпов, Н.В. Колодницкая // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2012. – № 6. – С. 119–133.
8. Лобачева Г.К. Эколого-геохимическая оценка урбандолиндов г. Волгограда / Г.К. Лобачева, И.Ж. Гучанова, А.П. Фоменко // Вестник ВолГУ. – 2008. – Серия 3. – № 1 (12).
9. Лобачева Г.К. Биопрепарат: оздоровление почв, эффективное применение в сельском хозяйстве / Г.К. Лобачева, Н.В. Колодницкая // Проблемы мелиорации земель и воспроизводства почвенного плодородия: матер. III междунар. науч.-практ. конф. / Кубанский гос. ун-т. Краснодар, 2010. – С. 151–153.
10. Патент РФ №2556062 от 04.02.2014. Состав для очистки и рекультивации почвы от нефтяных загрязнений / Лобачева Г.К. и др.