



УДК 504.062
ББК 20.1

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Желтобрюхов Владимир Федорович

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности
Волгоградского государственного технического университета
Z_Vi_f@mail.ru
Проспект Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, Российская Федерация

Осипов Василий Михайлович

Доктор технических наук, заместитель главного инженера
по экологической и технической безопасности МКП «ДРСУ № 1»
osirovvm@mail.ru
ул. Джаныбековская, 26, 400012 г. Волгоград, Российская Федерация

Колодницкая Наталья Владимировна

Кандидат технических наук, начальник отдела
научных исследований ВРОНО «Экологическая академия»
knv-volg@mail.ru
ул. Ленина, 15, 400066 г. Волгоград, Российская Федерация

Стяжин Владимир Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики
Волгоградского государственного технического университета
vstyazhin@yandex.ru
Проспект Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, Российская Федерация

Карпов Андрей Викторович

Начальник отдела экологии ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка»
knv-volg@mail.ru
ул. 40 лет ВЛКСМ, 55, 400029 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена разработанной и реализованной на практике технологии экологической ремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами. Технология является двухстадийной и включает биоремедиационный этап и фиторемедиационный. Полученные результаты по восстановлению техногенно-нарушенных земель были математически обработаны с помощью регрессионного и корреляционного анализов. Технология, базированная на применении препарата на основе вермикулита и сахарного сорго, рекомендована для внедрения при рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: нефтезагрязненная земля, биопрепарат, биогеохимический барьер, восстановление почвы, тест-культура, регрессионный, корреляционный анализы, технология.

Технология экологической ремедиации нефтезагрязненных земель состоит из двух этапов:

- биоремедиация техногенно-нарушенных земель;
- фиторемедиация техногенно-нарушенных земель.

Этап биоремедиации земель, нарушенных деятельностью нефтеперерабатывающего завода, призван осуществить детоксикацию земель и улучшение физико-химических свойств почв.

Этап биоремедиации нефтезагрязненных земель заключается в разработке препаратов на основе природных минералов, применяемых для рекультивации нарушенных земель [1; 8; 9].

Разработано два препарата для ремедиации нефтезагрязненных земель, отличающихся друг от друга основным компонентом: в одном присутствует вермикулит, а в другом – перлит. Все остальные составляющие препарата одинаковые [5].

1. Препарат содержит **вермикулит** – 75–95 мас. %, сапропель – 3,0–11,78 мас. %, воду – 3,2–11,36 мас. %, мочевины – 0,1–0,5 мас. %, янтарную кислоту – 0,01–0,05 мас. %.

2. Препарат содержит **перлит** – 75–95 мас. %, сапропель – 3,0–11,78 мас. %, воду – 3,2–11,36 мас. %, мочевины – 0,1–0,5 мас. %, янтарную кислоту – 0,01–0,05 мас. %.

Компоненты, используемые в препаратах, имеют отличающиеся друг от друга физико-химические, экологические свойства и свое предназначение в природе.

Этап фиторемедиации нефтезагрязненных земель способен произвести деградацию остаточного количества углеводородов нефти в процессе механизмов фитодеградации и ризодеградации. Растения усиливают работу микроорганизмов за счет биологически активных корневых выделений, таким образом, микрофлора почвы будет активизироваться и концентрироваться возле корневой системы

сахарного сорго, что позволит повысить плодородие почв [2; 6; 7; 13].

Один из видов сорго, наиболее засухоустойчивой культуры в мире, – сорго сахарное (*Sorghum saccharatum*) характеризуется тем, что в отличие от зернового и веничного сорго, в соке его стебля содержится более 10–20 % сахаров. В природе не существует другого растения, которое могло бы так быстро синтезировать сахарозу. Поскольку оно может возделываться в южных засушливых районах, где сахарную свеклу выращивать либо невыгодно, либо невозможно, интерес к сахарному сорго бесспорен.

Рекультивация земель, загрязненных нефтепродуктами, территории размещения полигона твердых промышленных отходов осуществлялась по методу *in situ* (на месте), содержание нефтепродуктов в которых соответствует 2-му уровню загрязнения земель (низкий), но превышает предельно допустимую концентрацию (далее – ПДК) вещества в почве [8; 12].

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

Для оценки эффективности биоремедиационного этапа технологии экологической ремедиации техногенно-нарушенных земель применялся метод биотестирования [4]. В качестве тест-культуры использовано сахарное сорго (*Sorghum saccharatum*).

В случае фиторемедиации, когда в качестве растения для очистки почвы использовалось сахарное сорго (*Sorghum saccharatum*) [3; 10; 11], по результатам проведенных измерений и после регрессионного анализа в качестве функции, аппроксимирующей зависимость высоты стебля от времени, мы выбрали степенную функцию 1 вида:

$$H(t) = a \cdot t^b \quad (1)$$

Таблица 1

Результаты физико-химического анализа проб почвы контрольной зоны

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

Примечание. * – усредненные значения.

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

Препарат	Сутки	Концентрация нефтепродуктов в почве, мг/кг *	pH *	Влажность, % *
на основе вермикулита	0	1 559,3	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	1 559,3	8,3	1,06
	1	880	—	—
	6	498,3		
	12	252		
	18	129,3		
	24	106,3	8,19	1,04

Примечания. * – усредненные значения

Предложенная функция адекватно описывает как зависимость высоты стебля от времени, так и сам процесс фиторемедиации. Если найти производную функции (2) по времени, то получим скорость роста сахарного сорго:

$$\begin{aligned}
 H'_i(t) &= a \cdot b \cdot t^{b-1}, \\
 H'_i(t) &= a \cdot b \cdot t^{b-1}, \\
 H'_i(t) &= \frac{a \cdot t^b \cdot b}{t}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Подставив в формулу (2) выражение (1) для Н(t), получим формулу для нахождения скорости роста стебля сахарного сорго на почвах, загрязненных нефтепродуктами, территории размещения полигона ТПО:

$$H'_i(t) = \frac{b}{t} \cdot H(t).
 \tag{3}$$

Выражение $b \cdot t^{-1}$, стоящее в правой части формулы (3) перед Н(t), имеет конкретный физический смысл – поглощающая способность. Действительно, с увеличением времени происходит насыщение растения питательными веществами, и поглощающая способность падает.

Кроме того, выбор обусловлен и тем, что коэффициент корреляции $R \geq 0,96$. Как и в опыте биоремедиации, коэффициенты а и b были най-

дены в Mathcad. В следующей таблице представлены полученные коэффициенты.

Далее представлен график данных измерений и аппроксимирующих функций территории размещения полигона ТПО, где применялись препараты (на основе вермикулита, перлита).

Препарат на основе вермикулита:

$$H(t) = 0,2 \cdot t^{1,24}.
 \tag{4}$$

Препарат на основе перлита:

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

Проанализировав представленные данные, можно сделать вывод, что коэффициент $b > 1$ 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 таблицы 3, из которых следует, что высота стебля достигла максимального значения 8,73 см на участке с применением препарата на основе вермикулита. На рисунке 1 виден реальный рост сахарного сорго, а не угнетение культуры. Коэффициент корреляции экспериментальных данных и результатов их теоретического анализа равен 0,97 –

значение характерное для участка с применением препарата на основе вермикулита. Вегетационная биомасса также превалирует на участке, где применялся ремедиант на основе вермикулита. Необходимо отметить, что длина корневой системы в 2,3 раза больше на территории с использованием препарата на основе вермикулита. Рост корневой системы сахарного сор-

го и всей культуры в целом позволили уменьшить концентрацию нефтепродуктов в почве до значений, представленных в таблице 5.

Табличные данные свидетельствуют об эффективности фиторемедиационного этапа технологии экологической ремедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО.

Таблица 3

Усредненные значения физиологических показателей исследуемой культуры

Физиологические показатели сахарного сорго (<i>Sorghum saccharatum</i>)	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

Таблица 4

Параметры регрессии для процесса фиторемедиации нефтезагрязненных земель

Препарат	Территория	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>
		Контроль	0,07	1,47
на основе вермикулита	полигон ТПО	0,2	1,24	0,97
на основе перлита		$2,5 \cdot 10^{-5}$	4,2	0,96

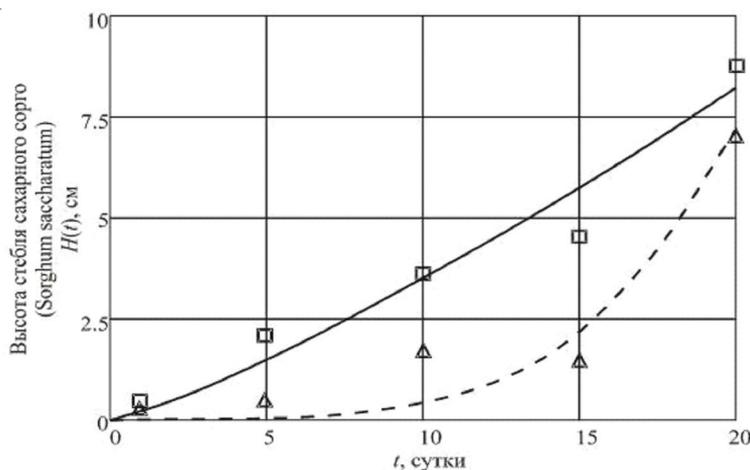


Рис. 1. Данные измерений и аппроксимирующие функции процесса фиторемедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО с внесенными препаратами на основе вермикулита – (□ и сплошная линия) и перлита – (Δ и пунктирная линия)

Результаты процесса фито- и ризодеградации остаточного количества углеводородов нефти в почве сахарным сорго

Препарат	Территория	Концентрация нефтепродуктов в почве, мг/кг
	Контроль	
на основе вермикулита	полигон ТПО	185,4
на основе перлита		47
		92

Технология экологической ремедиации земель, загрязненных нефтепродуктами, позволила со 2-го (низкий) уровня загрязнения почв снизить концентрацию нефтепродуктов до 1-го (допустимый) уровня загрязнения, то есть проведена детоксикация техногенно-нарушенных земель.

Для рекультивации техногенно-нарушенных земель мы рекомендуем применять новую комплексную технологию экологической ремедиации с применением препарата на основе вермикулита и сахарного сорго (*Sorghum saccharatum*), так как:

- этап биоремедиации нарушенных земель основан на применении новых препаратов, в основу которых входят исключительно природные компоненты;
- этап фиторемедиации нарушенных земель заключается в применении сахарного сорго, выбор которого обусловлен способностью данной культуры благоприятно произрастать в условиях Волгоградской области (засухоустойчивость, солевыносливость), а также его толерантность к произрастанию на нефтезагрязненных почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аммосова, Я. М. Нефтезагрязненные почвы / Я. М. Аммосова, Н. И. Суханова, С. Я. Трофимов // Агрехимический Вестник. – 1999. – № 5. – С. 37–38.
2. Белоусов, В. С. Фитомелиорация деградирующих почв с помощью сорговых культур / В. С. Белоусов // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработки сорго : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Зерноград : ВНИИСЗК, 1999. – С. 23–34.
3. Желтобрюхов, В. Ф. Создание искусственного биогеохимического барьера для защиты урбоэко-системы / В. Ф. Желтобрюхов, Н. В. Колодницкая, В. Н. Стыжин, Г. К. Лобачева, И. А. Полозова // Экологические системы и приборы. – 2012. – № 6. – С. 28–35.

4. Желтобрюхов, В. Ф. Фитотоксичность субстрата на основе отходов промышленно-транспортной деятельности, как показатель его пригодности в инженерно-экологической системе / В. Ф. Желтобрюхов, Н. В. Колодницкая, В. М. Осипов, И. А. Полозова, Ю. Н. Каргушина // Экологические системы и приборы. – 2013. – № 1. – С. 42–48.

5. Желтобрюхов, В. Ф. Синтез препарата для обеспечения экологически безопасных условий / В. Ф. Желтобрюхов, Н. В. Колодницкая, В. М. Осипов // XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. – 2011. – С. 381.

6. Иларионов, С. А. Основные подходы в рекультивации земель, загрязненных нефтью / С. А. Иларионов // Перспективы развития естественных наук на Западном Урале : труды междунар. науч. конф. – Пермь : [б. и.], 1996. – Т. 2. – С. 98–99.

7. Иларионов, С. А. Самоочищение нефтезагрязненных почв и их рекультивация / С. А. Иларионов // Освоение Севера и проблемы рекультивации : докл. III междунар. конф. – Сыктывкар : [б. и.], 1997. – С. 333–336.

8. Колодницкая, Н. В. Использование экологически безопасного препарата для усиления мер по восстановлению загрязненных почв / Н. В. Колодницкая // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». – 2011. – № 2. – С. 132–138.

9. 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.

10. Лобачева, Г. К. Предотвращение загрязнения подземных вод путем создания искусственных биогеохимических барьеров / Г. К. Лобачева, Н. В. Колодницкая, В. И. Сметанин, И. Ж. Гучанова, В. Ф. Желтобрюхов, В. М. Осипов, А. И. Филиппова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11, Естественные науки. – 2012. – № 1. – С. 48–57.

11. Лобачева, Г. К. Способ создания биохимических барьеров путем рекультивации земель, загрязненных продуктами нефтепереработки

/ Г. К. Лобачева, А. В. Карпов, О. А. Макаров, И. Ж., Гучанова, А. И. Филиппова, Н. В. Колодницкая // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2012. – № 6. – С. 119–133.

12. Препарат для биологической очистки почвы, загрязненной хлорорганическими вещества-

ми, свойственными выбросам химического предприятия / А. М. Салдаев, Г. К. Лобачева, Н. В. Колодницкая, В. М. Осипов патент на изобретение RU 2442668 01.06.2010.

13. Arthur, E. L. Phytoremediation—an overview / E. L. Arthur, P. J. Rice // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2005. – Vol. 24. – P. 109–122.

DEVELOPMENT AND REALIZATION THE TECHNOLOGY OF ECOLOGICAL REMEDIATION OF THE OIL-POLLUTED LANDS

Zheltobryukhov Vladimir Fedorovich

DSc in Technical, Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Safety,
Volograd State Technical University
Z_Vi_f@mail.ru
Prospect Lenina, 28, 400005 Volgograd, Russian Federation

Osipov Vasily Mihailovich

DSc in Technical, Deputy Chief Engineer for Ecological and Technical Safety of “DRSU № 1”
osipovvm@mail.ru
ul. Dzhanybekovskaya, 26, 400012 Volgograd, Russian Federation

Kolodnitskaya Natalya Vladimirovna

PhD in Technical, Head of Department of the Scientific Researches,
Ecological Academy
knv-volg@mail.ru
ul. Lenina, 15, 400066 Volgograd, Russian Federation

Styazhin Vladimir Nicolaevich

PhD in Technical, Associate Professor, Department of Applied Mathematics,
Volograd State Technical University
vstyazhin@yandex.ru
Prospect Lenina, 28, 400005 Volgograd, Russian Federation

Karpov Andrey Viktorovich

Head of the Ecology Department,
ООО “LUKOIL-Volgogradneftepererabotka”
knv-volg@mail.ru
ul. 40 let VLKSM, 55, 400029 Volgograd, Russian Federation

Abstract. Article is devoted to the technology of an ecological remediation of the lands polluted by oil products developed and realized in practice. The technology is two-phasic and includes a bioremediation stage and fitoremediation. The received results on restoration of the technogenic destroyed lands were mathematically processed by means of regression and correlation analyses. The technology based on application of a preparation on the basis of vermiculite and a sugar sorghum, is recommended for introduction at a recultivation of the destroyed lands.

Key words: the oil-polluted lands, biological product, biogeochemical barrier, soil restoration, test-culture, regression, correlation analyses, technology.