



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

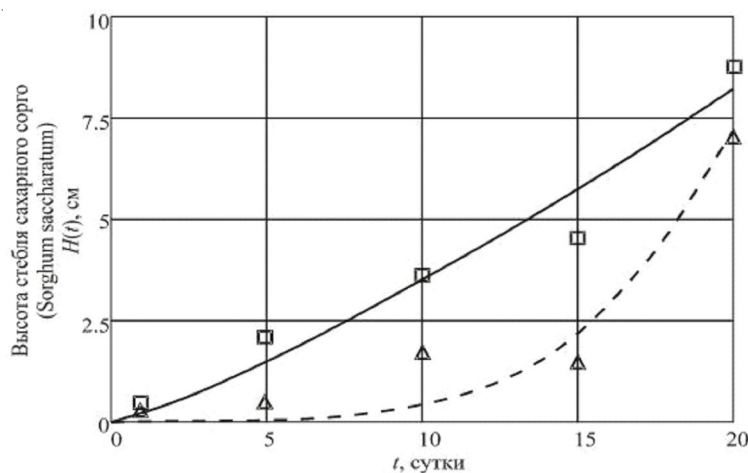


Рис. 1. Данные измерений и аппроксимирующие функции процесса фиторемедиации нефтезагрязненных земель территории размещения полигона ТПО с внесенными препаратами на основе вермикулита – (□ и сплошная линия) и перлита – (Δ и пунктирная линия)

**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,  
Volgograd 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. Dzhanibekovskaya, 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,  
Volgograd 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.