

**Издатель**

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<http://ecopri.ru>

**№ 2 (52). Июнь, 2024**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов  
Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. М. Макаров

**Редакционная коллегия**

Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
J. P. Kurhinen  
А. Ю. Мейгал  
J. B. Jakovlev  
В. Krasnov  
А. Gugotek  
В. К. Шитиков  
В. Н. Якимов

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М. Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: [ecopri@psu.karelia.ru](mailto:ecopri@psu.karelia.ru)

<http://ecopri.ru>





УДК 502/504

# СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

**СИВКОВ**  
Юрий Викторович

*кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, [sivkovjv@tyuiu.ru](mailto:sivkovjv@tyuiu.ru)*

**НИКИФОРОВ**  
Артур Сергеевич

*кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, [nikiforovas@tyuiu.ru](mailto:nikiforovas@tyuiu.ru)*

**Ключевые слова:**  
нефтезагрязнение  
торфяная почва  
поверхностно-активные вещества  
бактерии  
удобрения  
восстановление  
экология

**Аннотация:** В статье приведены исследования по изучению эффективности применения различных восстановительных комплексов на основе поверхностно-активных веществ «Гидробрейк» и «Рифей» с включением бактерий и удобрений для очистки нефтезагрязненных торфяных почв. Объектом исследования послужила торфяная почва на среднем торфе и торфянисто-глеевая почва, загрязненные товарной нефтью. В ходе проведения опыта оценивались показатели остаточного содержания нефтепродуктов и показатели фитотоксичности. Результаты проведенных исследований показали, что наиболее эффективным является способ снижения загрязнения почвы нефтью с применением поверхностно-активных веществ, биологического препарата и удобрений, снижение концентрации в течение 26 суток в этом случае составило 37.4 и 34.8 % для торфяной почвы на среднем торфе и торфянисто-глеевой почвы соответственно. При оценке фитотоксичности в качестве тест-объектов использовался овес посевной. Снижение фитотоксичности наблюдалось во всех вариантах применения восстановительных комплексов. Всхожесть для торфяной почвы на среднем торфе для вариантов с применением восстановительных комплексов была выше, чем в контрольном варианте, на 6–32 %, для торфянисто-глеевой почвы на 8–30 %. Проведенные исследования свидетельствуют о высокой эффективности применения восстановительных комплексов.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 12 ноября 2023 года

Подписана к печати: 26 июня 2024 года

## Введение

Нарушение устойчивого функционирования почвенной экосистемы, связанное с поступлением в нее нефтезагрязнения, а также сопутствующее загрязнение подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха, растительности являются одной из актуальных проблем природопользования.

Тюменская область относится к терри-

тории, которая имеет высокий риск нефтезагрязнения окружающей среды в связи с большим количеством объектов нефтегазовой отрасли. Неуправляемые техногенные потоки углеводородов, образующиеся в результате добычи нефти и газа, их транспортировки, переработки и потребления, приводят к антропогенному преобразованию географической оболочки, при котором по-

чвы имеют нулевой потенциал для функционирования природных систем (Пиковский, 1993). Когда нефть попадает в окружающую среду, ее соединения подвергаются физическим, химическим и биологическим изменениям (Бабаев, Мовсумзаде, 2009; Кирий и др., 2014; Баландина и др., 2014).

Проблема загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами решается различными методами рекультивации земель, среди которых наиболее значимым являются *in situ* – то есть методы восстановления почв «на месте» без изъятия нефтезагрязненного грунта. В современных условиях с повышением критериев к охране окружающей среды это связано в первую очередь с относительной эффективностью и безопасностью для местных экосистем, а также меньшими экономическими затратами в сравнении с методами *ex situ* (Никифоров, 2021).

На сегодняшний день основными методами являются: внесение удобрений, фитомелиоративные мероприятия, рыхление, известкование, добавление сорбентов, орошение, внесение ферментов или косубстратов, структурообразователей, поверхностно-активных веществ.

За последние годы накоплено немало результатов исследований, подтверждающих эффективность применения различных по химической природе поверхностно-активных веществ в биоремедиации (Плотникова и др., 2016; Куликова, 2019; Антипова и др., 2014; Неустроев, 2016 и др.). Однако особенности синергетических эффектов совместного применения поверхностно-активных веществ и биопрепаратов (удобрения, бакпрепараты) остаются слабо изученными как на биофизическом, так и на биохимическом уровне.

Цель исследования заключалась в изучении эффективности применения различных восстановительных комплексов на основе поверхностно-активных веществ и биопрепаратов для биоремедиации нефтезагрязненных торфяных почв.

## Материалы

Объектом исследования являются торфяно-перегнойные типичные почвы на мелком торфе, а также торфянисто-перегнойно-глеевая солончаковая почва, расположенная в Тюменском районе Тарманского болотного массива. Растениями-торфообразователями служили осоки, тростник, гипнум и др.

Подстилающими породами являются

мелкозернистые пески и песчаные глины четвертичных отложений (липовская свита), имеющие мощность 16 м. Ниже четвертичных осадков залегают породы палеогена (туртасская и куртамышская свиты). Литологические осадки свит представлены мелкозернистыми песками и глинами общей мощностью 25 м. Ниже располагается пласт глины регионального водоупора (тавдинская свита), мощность которого в пределах Тарманского болота 60–130 м.

Агрохимические свойства торфяных почв северной лесостепи тесно связаны с условиями их образования. Торфяная почва на среднем торфе имеет слабокислую реакцию среды (5.9–6.0  $pH_{\text{кол}}$ ), гидролитическая кислотность составляет в среднем 22.7 мг-экв. на 100 г абсолютно сухой почвы. Торфянисто-глеевая почва, напротив, имеет слабощелочную реакцию (7.5  $pH_{\text{кол}}$ ) и низкую гидролитическую кислотность (5.5 мг-экв. на 100 г абсолютно сухой почвы). Торфяная почва на мелком торфе и торфянисто-глеевая почва имеют высокую степень насыщенности основаниями (85.3–96.3 %) (Сивков, 2015).

Высокое содержание органических веществ и минералов в торфянисто-глеевой почве делает ее более плодородной, чем торфяной почвы на мелком торфе, поэтому они часто используются в сельском хозяйстве.

## Методы

Процесс постановки лабораторного опыта заключался в моделировании загрязнения нефтью торфяной почвы из расчета 5 % от объема с последующим внесением восстановительных комплексов по следующей схеме в четырехкратной повторности (рис. 1):

1. Незагрязненная почва (П0);
2. Контроль (П1);
3. Гидробрейк 1:100 (П2);
4. Гидробрейк 1:100 + Дестройл (П3);
5. Гидробрейк 1:100 + Дестройл + Микориза (П4);
6. Гидробрейк 1:100 + Дестройл + Гумат (удобрения) (П5);
7. Рифей 1:20 (П6);
8. Рифей 1:20 + Дестройл (П7);
9. Рифей 1:20 + Дестройл + Микориза (П8);
10. Рифей 1:20 + Дестройл + Гумат (удобрения) (П9).



Рис. 1. Образцы нефтезагрязненной почвы

Fig. 1. Samples of oil-contaminated soil

В качестве поверхностно-активных веществ при проведении исследований использовались два вещества, применяемых для промывки почвы, загрязненной нефтью: гидробрейк и рифей.

Препаратами на основе поверхностно-активных веществ, применяемыми при проведении исследований по очистке почв от нефтезагрязнения, являлись коммерческие препараты «гидробрейк» и «рифей-эко». По данным производителей, состав гидробрейка представляет собой водный раствор биоразлагаемых поверхностно-активных веществ, слабых органических кислот и растительных экстрактов; состав рифей-эко: вода, смесь поверхностно-активных веществ (диспергаторы и деэмульгаторы), органические добавки, антиресорбент. Данные препараты были выбраны в связи с востребованностью их предприятиями, занимающимися ликвидацией аварийных разливов нефти, и недостаточным подтверждением их эффективности научными исследованиями.

Оба препарата имеют схожий способ и область применения, заключающуюся в многократном разбавлении водой (от 10 до 200 раз в зависимости от степени загрязнения) и последующем орошении нефтезагрязненного грунта или поверхности.

Для стимуляции процесса биodeградации нефтезагрязнения в образцах торфяной по-

чвы применялся биологический препарат «Дестройл» (ПО «Сиббиофарм») на основе *Acinetobacter* sp. Этот препарат представляет собой порошок, состоящий из клеток микроорганизма, обладающих углеводородокисляющей активностью с концентрацией не менее  $10^8$  клеток в 1 грамме препарата, остатков питательной среды (Никифоров, 2021).

Для поддержания процессов жизнедеятельности углеводородокисляющей микрофлоры в почву вносились микориза (ООО «Биоабсолют») и гумат (ООО «НПЦ «Эврика»).

Микориза – это симбиотическое союзное сообщество корней растений и грибов. Этот вид биологического удобрения позволяет повысить урожайность и качество продукции, а также снизить затраты на химические удобрения (Брындина, 2022).

Гумат – это органическое удобрение, обладает стимулирующими и адаптогенными свойствами. Повышает энергию прорастания, всхожесть, устойчивость к болезням, к стрессам от пестицидов, низких температур, засухи и других внешних условий; увеличивает коэффициент использования питательных веществ; снижает содержание нитратов в продукции. Он ускоряет рост и развитие растений, повышает урожайность и качество продукции, норма внесения 5–10 г на  $1 \text{ м}^2$



или 10 г на 10 л воды (Грехова, 2015).

В качестве загрязнителя была использована нефть товарная, взятая из нефтепровода Шаим-Тюмень. Данная нефть имеет плотность 838–854 кг/м<sup>3</sup>, кинематическую вязкость 8.5 сСт и температуру застывания минус 14 °С. Также в нефти кроме основного продукта присутствуют механические примеси (не более 0.02 %), сера (не более 0.75 %) и хлористые соли (до 26 мг/дм<sup>3</sup>).

В процессе опыта контроль остаточного содержания нефтепродуктов в почвенных образцах осуществлялся в начале эксперимента, на 8-е и 26-е сутки по методике ПНДФ 16.1:2.21-98 «Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости "Флюарат-02"».

Оценку всхожести семян определяли согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Для постановки эксперимента по определению всхожести использовались вегетационные сосуды емкостью 700 мл. Для каждого образца отбиралось по 50 семян овса посевного, которые были предварительно проверены визуально, чтобы убедиться, что они сходного размера и не повреждены. Затем семена дважды промывали этанолом (70 %). Высев семян производился в почву на 26-е сутки от начала эксперимента. Семена *Avena* проращивали при комнатной температуре 20 ± 2 °С.

Для оценки степени токсичности образцов почвы в лабораторных условиях определяли показатели прорастания семян – всхожесть и среднюю длину всходов. Всхожесть семян рассчитывали как долю проросших семян, выраженную в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания.

В результатах научной работы представлены среднеарифметические данные четырех повторностей вариантов опыта и стандартные ошибки. Для достоверного определения отличий в опыте и контроле использовали парный *t*-тест и двухфакторный дисперсионный анализ. Статистическую обработку осуществляли с использованием Microsoft Excel.

## Результаты

Анализ остаточного содержания нефтепродуктов на начало опыта в торфяной почве на среднем торфе и торфянисто-глеевой почве показал значения 21.9 и 23.3 г/кг соответственно.

Через сутки после формирования отдельных проб был поставлен эксперимент с внесением в них компонентов в соответствии со схемой, представленной выше.

Отбор почвенных образцов для проведения исследования на содержание нефти производился на 8-е и 26-е сутки от начала эксперимента. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1 для торфяной почвы на среднем торфе и торфянисто-глеевой почвы соответственно.

Таблица 1. Динамика снижения остаточного содержания нефтепродуктов

Показатель	Варианты опыта								
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
<b>Торфяная почва на среднем торфе</b>									
<b>1. Содержание НП, г/кг:</b>									
на начало опыта	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9
через 8 суток	20.4	19	18.35	19.2	19.4	18.75	19.65	20.2	19.35
через 26 суток	17.5	15	14.4	14.15	13.7	14.2	16.7	15	14.5
<b>2. Снижение остаточного содержания НП, %</b>									
	20.1	31.5	34.2	35.4	37.4	35.2	23.7	31.5	33.8
<b>Торфянисто-глеевая почва</b>									
<b>1. Содержание НП, г/кг:</b>									
на начало опыта	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
через 8 суток	21.9	21.6	20.8	21.2	20.5	21.45	21.8	20.7	20.8
через 26 суток	18.75	16	16.7	16.3	15.2	18.1	18	16.5	15.8
<b>2. Снижение остаточного содержания НП, %</b>									
	19.5	31.3	28.3	30.0	34.8	22.3	22.7	29.2	32.2

Из таблицы видно, что во всех вариантах отмечается снижение остаточного содержания нефтепродуктов.

Анализируя эффективность применения восстановительных комплексов на основе поверхностно-активных веществ «Гидробрейк» и «Рифей», можно отметить их положительное влияние по всем вариантам лабораторного эксперимента, в среднем снижение остаточного содержания нефтепродуктов в первые восемь дней составило 11 %, а через 26 дней – 31 % по всем вариантам от начала эксперимента.

В вариантах с внесением помимо поверхностно-активных веществ биологического препарата «Дестройл» во все сроки не отмечено значительных отклонений от средних значений скорости снижения остаточного содержания нефтепродуктов. Так, в среднем по вариантам остаточное содержание нефтепродуктов для торфяной почвы на среднем торфе снизилось в первые восемь дней незначительно, в последующие 26 дней – в среднем на 32.8 %. Примерно аналогичная ситуация по остаточному содержанию нефтепродуктов наблюдается и для торфянисто-глеевой почвы.

Двухфакторный дисперсионный анализ данных, приведенных в табл. 1, показал влияние на снижение нефтепродуктов восстановительных комплексов для торфяной почвы на среднем торфе ( $F = 13.79 > F_U = 2.05$ ) и торфянисто-глеевой почвы ( $F = 11.46 > F_U = 2.05$ ), а также влияние продолжительности

проведения эксперимента ( $F = 1458.01 > F_U = 3.10$  и  $F = 1276.90 > F_U = 3.10$  для соответствующего типа почвы).

Максимальное снижение концентрации отмечается в вариантах, где добавлялись поверхностно-активные вещества, биопрепарат и удобрение. Для торфяной почвы на среднем торфе значение составило 13.7 г/кг (П5), а для торфяно-глеевой – 14.5 г/кг (П9). Аналогичная ситуация отмечается и для торфяно-глеевой почвы, значение остаточного содержания нефтепродуктов составило 15.2 и 15.8 г/кг соответственно.

Рассматривая варианты применения поверхностно-активных веществ «Гидробрейк» и «Рифей», можно отметить, что снижение содержания нефтепродуктов в вариантах с применением «Гидробрейка» для обоих типов почв выше в среднем на 4.1 %, что по результату парного двухвыборочного  $t$ -теста не является статистически значимым различием ( $t_{набл.} = 0.76 < t_{крит.} = 2.06$ ).

Анализ литературы показывает, что оценка фитотоксичности является наиболее подходящим биоиндикатором эффективности процесса восстановления плодородия нефтезагрязненных почв (Гашева и др., 1990; Фомченков и др., 1996; Капелькина, 2001; Назаров, Иларионов, 2005; Adam, Duncan, 1999; Banks, Schultz, 2005).

Результаты оценки всхожести семян и длины всходов в исследуемых образцах приведены на рис. 2 и в табл. 2.

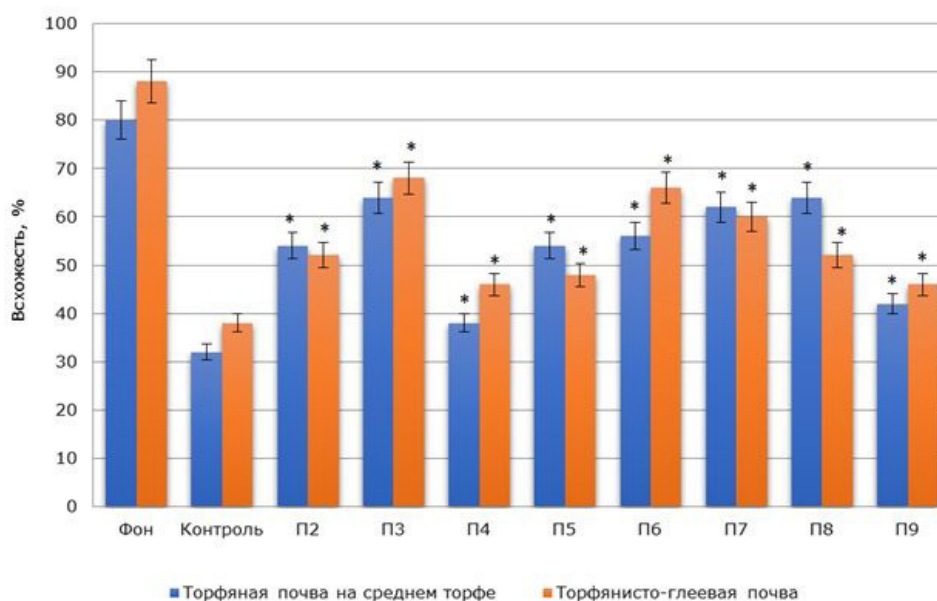


Рис. 2. Результаты оценки всхожести семян в исследуемых образцах.

\* – различия с контролем достоверны при  $p < 0.05$

Fig. 2. The results of the evaluation of seed germination in the studied samples.

\* – differences with the control are significant at  $p < 0.05$

Таблица 2. Результаты измерения длины всходов в исследуемых образцах, мм

Номер образца	Торфяная почва на среднем торфе		Торфянисто-глеевая почва	
	Min–Max	M ± m (p=0.05)	Min–Max	M ± m (p=0.05)
П0	65–185	108 ± 7.2	63–156	115 ± 7.9
П1	18–74	49 ± 2.8	35–81	62 ± 4.4
П2	14–88	61 ± 4.2	18–117	83 ± 5.7
П3	20–113	70 ± 4.8	64–144	108 ± 7.3
П4	15–97	65 ± 4.5	15–110	87 ± 6.3
П5	28–96	66 ± 4.5	55–150	106 ± 6.9
П6	38–101	59 ± 4.0	43–146	104 ± 7.0
П7	29–80	54 ± 3.6	35–120	98 ± 8.1
П8	35–92	68 ± 5.1	25–153	96 ± 7.7
П9	20–85	62 ± 4.4	45–128	95 ± 7.4

Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что снижение фитотоксичности наблюдается во всех вариантах применения восстановительных комплексов. Всхожесть для торфяной почвы на среднем торфе для вариантов П2–П9 была выше, чем в контрольном варианте П1, на 6–32 %, для торфянисто-глеевой почвы – на 8–30 %. Максимальная всхожесть наблюдалась в вариантах П3, П7, П8 для торфяной почвы на среднем торфе и П3, П6, П7 для торфянисто-глеевой почвы. Двухфакторный дисперсионный анализ данных, приведенных на рис. 2, показал наличие статистически значимых различий между вариантами опыта ( $F = 58.21 > F_{\alpha} = 2.04$ ) и отсутствие существенного влияния типа почвы на показатели всхожести семян ( $F = 2.42 < F_{\alpha} = 4.01$ ) при уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Результаты измерения длины всходов в исследуемых образцах показали значительный разброс значений внутри каждого варианта опыта, что, очевидно, связано с наличием других неучтенных факторов, влияющих на этот показатель. Если учитывать только среднюю длину ростков, то в образцах, где применялись восстановительные комплексы, этот показатель был выше, чем в нефтезагрязненном контроле, на 5–21 мм для торфяной почвы на среднем торфе и на 21–46 мм для торфянисто-глеевой почвы. Результаты статистической обработки данных дают основания говорить о существенном влиянии типа почвы на длину ростков овса ( $F = 49.91 > F_{\alpha} = 5.12$ ).

## Обсуждение

Добавление различных компонентов приводит к снижению остаточного содержания нефтепродуктов в первые восемь суток на 7.8–16.2 и 6.4–12.0 % соответственно для торфяной почвы на среднем торфе и торфянисто-глеевой почве по сравнению с контролем. Аналогичные результаты были получены в исследованиях, проводимых А. В. Ледневым и И. А. Скворцовой (2017), где нефтезагрязнение торфяной почвы составляло 20 г/кг и в течение первых пяти дней доля извлечения нефтепродуктов равнялась 7 %. На 26-е сутки снижение остаточного содержания нефтепродуктов от начала эксперимента составило 23.7–37.4 % для торфяной почвы на среднем торфе и 22.3–34.8 % для торфянисто-глеевой почвы, на контроле остаточное содержание нефтепродуктов уменьшилось на 20.1 и 19.5 % соответственно. Эти данные подтверждаются результатами исследований И. И. Толпешта и др. (2015), в которых снижение загрязнения нефтью торфа с удобрениями в течение 2.5 месяца привело к уменьшению содержания в образцах нефтепродуктов на 26 %.

В результате проведенного лабораторного исследования можно отметить, что наиболее эффективным является способ снижения загрязнения почвы нефтью с применением поверхностно-активных веществ, биологического препарата и удобрений, снижение концентрации в течение 26 суток в этом случае составляет 37.4 и 34.8 % соот-

ветственно для торфяной почвы на среднем торфе и торфянисто-глеевой почвы. Полученные результаты подтверждаются статистической достоверностью различия с контролем на 26-й день во всех вариантах кроме П7 на торфяной почве на среднем торфе и вариантов П6 и П7 на торфянисто-глеевой почве. Положительный эффект применения поверхностно-активных веществ отмечается в работе О. А. Куликовой (2019), через неделю после обработки почвы снижение уровня нефтяного загрязнения в почвогрунте составило 33.6 %.

В целом показатели всхожести и длины стеблей отражают эффективность применения восстановительных комплексов на основе поверхностно-активных веществ, тем самым подтверждая снижение фитотоксичности. В работе А. С. Чердакова и С. В. Гальченко (2020) говорится, что применения мелиорантов повышает уровень детоксикации загрязненной почвы, что выражается в снижении ее фитотоксичности. Исследованиями Э. Р. Зайнулгабидинов и др. (2014) установлена зависимость фитотоксичности почв от содержания в ней углеводов, изменение концентрации загрязнителя во времени отражается на показателе фитотоксичности. Полученные в данной работе результаты не позволяют судить о высоте ростков как надежном показателе, характеризующем фитотоксичность нефтезагрязненных почв.

## Заключение

Результаты статистической обработки данных, полученных в результате проведенных исследований, показывают, что все применяемые восстановительные комплексы приводят к статистически значимому сниже-

нию остаточного содержания нефтепродуктов ( $t_{набл.} = 4.77 > t_{крит.} = 2.07$ ) по сравнению с контролем. Однако среди данных вариантов можно выделить наиболее эффективные восстановительные комплексы.

Применение поверхностно-активных веществ привело на конец эксперимента к снижению остаточного содержания нефтепродуктов в среднем на 31 % для исследуемых типов почв. В контрольном варианте снижение остаточного содержания нефтепродуктов составило в среднем 19.8 %.

Необходимо отметить, что применение бакпрепарата «Дестройл» в дополнение к поверхностно-активным веществам не приводит к статистически значимому влиянию на эффективность биоремедиации ( $t_{набл.} = 1.56 < t_{крит.} = 2.07$ ).

По результатам парного двухвыборочного  $t$ -теста статистически значимые отличия наблюдаются при добавлении гуматов в восстановительном комплексе на основе Гидробрейка ( $t_{набл.} = 4.12 > t_{крит.} = 2.07$ ).

Оценка фитотоксичности почв показала, что значение всхожести семян *Avena* превышали контрольные значения во всех вариантах с применением восстановительных комплексов на 6–32 %.

Результаты измерения длины всходов в исследуемых образцах подтвердили, что нефтезагрязнение оказывает угнетающее влияние на морфометрические показатели по сравнению с незагрязненной почвой. Однако в образцах, где применялись восстановительные комплексы, средняя длина всходов была выше, чем в нефтезагрязненном контроле, на 5–21 мм для торфяной почвы на среднем торфе и на 21–46 мм для торфянисто-глеевой почвы.

## Библиография

- Антипова К. А., Мурадян А. С., Максимова В. В. и др. Влияние поверхностно-активных веществ на рост и деструктивную активность углеводородокисляющих микроорганизмов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 3. С. 256–259.
- Бабаев Э. Р., Мовсумзаде М. Э. Преобразование нефти в процессе ее микробиологической деградации в почве // Башкирский химический журнал. 2009. Vol. 16, № 3. С. 80–87.
- Баландина А. В., Кузнецов Д. Б., Бурдова Л. В. Самовосстановление нефтезагрязненных почв // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 85–88.
- Брындина Л. В., Арнаут Ю. И., Алыкова О. И. Микоризообразующие грибы в формировании биогеоценозов: аналитический обзор // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12, № 1 (45). С. 5–20. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/1.
- Гашева М. Н., Соромотин А. В., Гашев С. Н. Состояние растительности как критерий нарушенности лесных биоценозов при нефтяном загрязнении // Экология. 1990. № 2. С. 77–78.
- Грехова И. В. Гуминовый препарат из низинного торфа // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 87–90.
- Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатъев Ю. А., Петров А. М. Особенности изменения фитотоксичности дерново-карбонатной и светло-серой лесной почв, загрязненных нефтепродуктами // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2014. № 1–2 (61–62). С. 35–37.



- Капелькина Л. П. Экосистемный подход к установлению региональных нормативов допустимого остаточного уровня содержания нефтепродуктов в почвах болотных ландшафтов // Экобиотехнология. Борьба с нефтяным загрязнением окружающей среды: Тез. докл. конф., Пущино, 29–30 января 2001 г. Пущино, 2001. С. 9–10.
- Кирий О. А., Колесников С. И., Зинчук А. Н., Казеев К. Ш. Использование углеводородоокисляющих бактерий при биоремедиации нефтезагрязненных почв и вод: Монография. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. 140 с. URL: <https://rucont.ru/efd/637106> (дата обращения: 30.03.2024).
- Куликова О. А. Экологические аспекты применения ПАВ для восстановления нарушенных арктических земель: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2019. 162 с.
- Леднев А. В., Скворцова И. А. Влияние нефтяного загрязнения на микробное сообщество торфяных почв среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1 (56). С. 47–53.
- Назаров А. В., Иларионов С. А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Письма в Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 1. С. 60–65.
- Неустроев М. М. Экологическая оценка нефтезагрязненных мерзлотных почв и разработка способов их биоремедиации: Дис. ... канд. биол. наук. Якутск, 2016. 131 с.
- Никифоров А. С. Биоремедиация нефтезагрязненных луговых почв юга Тюменской области: Дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2021. 142 с.
- Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.
- Плотникова М. Д., Щербань М. Г., Медведева Н. А. Перспективы использования водных композиций поверхностно-активных веществ для очистки нефтезагрязненных грунтов // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 114–121.
- Сивков Ю. В. Физико-химические свойства торфа, применяемого для рекультивации нарушенных земель // Инновации и инвестиции. 2015. № 9. С. 204–205.
- Толпешта И. И., Трофимов С. Я., Эркенова М. И. и др. Лабораторное моделирование последовательного аэробного и анаэробного разложения нефтепродуктов в загрязненном нефтью верховом торфе // Почвоведение. 2015. № 3. С. 360. DOI: 10.7868/S0032180X15030120.
- Чердакова А. С., Гальченко С. В. Изменение фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28, № 4. С. 336–348. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348.
- Adam G., Duncan H. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species // Environmental Geochemistry and Health. 1999. Vol. 21. P. 353–357.
- Banks M. K., Schultz K. E. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum contaminated soils // Water Air and Soil Pollution. 2005. Vol. 167 (1–4). P. 211–219.

# REDUCTION OF PHYTOTOXICITY OF OIL-CONTAMINATED PEAT SOILS THROUGH THE USE OF REGENERATIVE COMPLEXES BASED ON SURFACTANTS

**SIVKOV**  
Yuri Viktorovich

*Ph.D., Tyumen Industrial University, 625000, Tyumen, Lunacharsky St., 2, sivkovjv@tyuiu.ru*

**NIKIFOROV**  
Artur Sergeevich

*Ph.D., Tyumen Industrial University, 625000, Tyumen, Lunacharsky St., 2 2, nikiforovas@tyuiu.ru*

**Keywords:**  
oil pollution  
peat soil  
surfactants  
bacteria  
fertilizers  
restoration  
ecology

**Summary:** The article presents studies on the effectiveness of using various regenerative complexes based on the surfactants “Hydrobreak” and “Rifey” with the inclusion of bacteria and fertilizers for purification of oil-contaminated peat soils. The object of the study was peat soil on medium peat and peaty gley soil contaminated with commercial oil. During the experiment, the residual content of petroleum products and phytotoxicity indicators were assessed. The results of the studies showed that the most effective way to reduce soil contamination with oil was using surfactants, biological preparations and fertilizers. The decrease in concentration over 26 days in this case was 37.4 and 34.8% for peat soil on medium peat and peaty gley soil, respectively. When assessing phytotoxicity, oats were used as test objects. A decrease in phytotoxicity was observed in all variants of using regenerative complexes. When using regenerative complexes, germination rate for peat soil on medium peat was higher than in the control by 6–32 %, for peaty gley soil by 8–30 %. The conducted studies indicate the high efficiency of the use of regenerative complexes.

**Received on:** 12 November 2024

**Published on:** 26 June 2024

## References

- Adam G., Duncan H. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species, *Environmental Geochemistry and Health*. 1999. Vol. 21. P. 353–357.
- Antipova K. A. Muradyan A. S. Maksimova V. V. The influence of surfactants on the growth and destructive activity of hydrocarbon-oxidizing microorganisms, *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2014. T. 17, No. 3. P. 256–259.
- Babaev E. R. Movsumzade M. E. Transformation of oil during its microbiological degradation in soil, *Bashkirskiy himicheskij zhurnal*. 2009. Vol. 16, No. 3. P. 80–87.
- Balandina A. V. Kuznecov D. B. Burdova L. V. Self-regeneration of oil-contaminated soils, *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*. 2014. No. 4. P. 85–88.
- Banks M. K., Schultz K. E. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum contaminated soils, *Water Air and Soil Pollution*. 2005. Vol. 167 (1–4). P. 211–219.
- Bryndina L. V. Arnaut Yu. I. Alykova O. I. Mycorrhiza-forming fungi in the formation of biogeocenoses: an analytical review, *Lesotehnicheskij zhurnal*. 2022. T. 12, No. 1 (45). P. 5–20. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/1.
- Cherdakova A. S. Gal’chenko S. V. Changes in the phytotoxicity of soils contaminated with petroleum products in the process of their microbiological remediation with the addition of humic preparations, *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Èkologiya i bezopasnost’ zhiznedeyatel’nosti*. 2020. T. 28, No. 4. P. 336–348. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348.
- Gasheva M. N. Soromotin A. V. Gashev S. N. The state of vegetation as a criterion for the disturbance of forest biocenoses during oil pollution, *Èkologiya*. 1990. No. 2. P. 77–78.
- Grehova I. V. Humic preparation from lowland peat, *Teoreticheskaya i prikladnaya èkologiya*. 2015. No. 1. P. 87–90.
- Kapel’kina L. P. An ecosystem approach to establishing regional standards for the permissible residual level of petroleum products in soils of swamp landscapes, *Èkobiotehnologiya. Bor’ba s neftyanym zagryazneniem okružhayuschey sredy: Tez. dokl. konf., Puschino, 29–30 yanvarya 2001 g. Puschino*, 2001. P. 9–10.
- Kiriya O. A. Kolesnikov S. I. Zinchuk A. N. Kazeev K. Sh. The use of hydrocarbon-oxidizing bacteria in the

- bioremediation of oil-contaminated soils and waters: Monograph. Rostov-na-Donu: Izd-vo YuFU, 2013. 140 p. URL: <https://rucont.ru/efd/637106> (data obrascheniya: 30.03.2024).
- Kulikova O. A. Environmental aspects of the use of surfactants for restoration of disturbed Arctic lands. M., 2019. 162 p.
- Lednev A. V. Skvorcova I. A. The influence of oil pollution on the microbial community of peat soils in the middle Cis-Urals, *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2017. No. 1 (56). P. 47–53.
- Nazarov A. V. Ilarionov S. A. Studying the causes of phytotoxicity of oil-contaminated soils, *Pis'ma v Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Al'ternativnaya energetika i ekologiya»*. 2005. No. 1. P. 60–65.
- Neustroev M. M. Environmental assessment of oil-contaminated cryogenic soils and development of methods for their bioremediation. Yakutsk, 2016. 131 p.
- Nikiforov A. S. Bioremediation of oil-contaminated meadow soils in the south of the Tyumen region. Tyumen', 2021. 142 p.
- Pikovskiy Yu. I. Natural and man-made flows of hydrocarbons in the environment. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1993. 208 p.
- Plotnikova M. D. Scherban' M. G. Medvedeva N. A. Prospects for the use of aqueous compositions of surfactants for cleaning oil-contaminated soils, *Geograficheskiy vestnik*. 2016. No. 3 (38). P. 114–121.
- Sivkov Yu. V. Physico-chemical properties of peat used for reclamation of disturbed lands, *Innovacii i investicii*. 2015. No. 9. P. 204–205.
- Tolpeshta I. I. Trofimov S. Ya. Erkenova M. I. Laboratory modeling of sequential aerobic and anaerobic decomposition of petroleum products in oil-contaminated high peat, *Pochvovedenie*. 2015. No. 3. P. 360. DOI: 10.7868/S0032180X15030120.
- Zaynulgabidinov E. R. Ignat'ev Yu. A. Petrov A. M. Features of changes in phytotoxicity of soddy-carbonate and light gray forest soils contaminated with petroleum products, *Zhurnal ekologii i promyshlennoy bezopasnosti*. 2014. No. 1–2 (61–62). P. 35–37.