

## ПРИМЕНЕНИЕ БИОРЕМЕДИАЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ, И ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

<sup>1</sup>Тавадзе Б.Д., <sup>2</sup>Белокурова Е.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Нижневартовский филиал,  
Нижневартовск, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет», Нижневартовск,  
e-mail: e.belokurova@mail.ru

В условиях севера естественные самоочищающие процессы почвенной среды из-за вечной мерзлоты проходят слишком медленно. При разливе нефти деградация углеводородного сырья продолжается почти 15–20 лет. Поэтому необходимо проводить рекультивационные мероприятия. В последнее время для восстановления почвенного баланса все чаще применяют метод биоремедиации. Биоремедиация – использование биодеструкторов (биопрепаратов) для полной деградации загрязняющих веществ или для снижения их концентрации в почвенной и водной среде. Основной целью данной работы было определение влияния биодеструкторов в процессе деградации нефтяного состава, оценка их роли совместно с аборигенными микроорганизмами в процессе восстановления почвенного профиля и доказательство эффективности применения адсорбентов при проведении рекультивационных мероприятий. В данной научной работе были использованы деструкторы: Экойл, Экосейл, Бионетик, Ленойл, Microbe-hidro и адсорбент (Spill-sorb), а также исследуемая почва с различных месторождений города Нижневартовска, в частности Тюменское м/р, Нефтепровод Стрежевой, Нефтепровод Советское, Нефтепровод Нижневартовское, Узунское м/р. Исследования проводились в лабораторных условиях, где были созданы специальные условия для проведения опыта. Процентное содержание нефти в анализируемых пробах определяли методом ИК-спектрометрии на анализаторе «Концентратомер КН-3». На первых стадиях исследования процентное содержание нефти определяли с применением адсорбента (Spill-sorb) и без него. Затем адсорбент был удален, и исследования проводились на пробах с учетом применения адсорбента и без него. В работе представлены результаты трех месяцев исследования. В итоге исследования полученные данные доказали целесообразность и экономическую выгоду применения адсорбентов перед применением биодеструкторов, а также доказали синергическую связь между биодеструкторами и местными аборигенными микроорганизмами. Полученные результаты также доказали, что с помощью адсорбента срок применения биодеструкторов можно сократить с трех лет до двух. Экономическая эффективность при этом составит 124500 руб. на 1000 м<sup>2</sup> в течение трех сезонов.

**Ключевые слова:** биоремедиация, бактерий, загрязнители, биодеструкторы, почва, адсорбент

## APPLICATION OF BIOREMEDIATION IN LABORATORY CONDITIONS FOR CLEANING SOILS CONTAMINATED WITH PETROLEUM PRODUCTS AND ITS ECONOMIC EFFECTIVENESS

<sup>1</sup>Tavadze B.D., <sup>2</sup>Belokurova E.V.

<sup>1</sup>Industrial University of Tyumen, branch in Nizhnevartovsk, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru;

<sup>2</sup>Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: e.belokurova@mail.ru

In northern conditions, the natural self-cleaning processes of the soil environment, due to permafrost, are too slow. During an oil spill, the degradation of hydrocarbons continues for almost 15–20 years. Therefore, it is necessary to carry out reclamation measures. Recently, to restore soil balance, the bioremediation method is increasingly being used. Bioremediation – the use of biodestructors (biological products) for the complete degradation of pollutants, or to reduce their concentration in the soil and water environment. The main goal of this work was to determine the influence of biodestructors in the process of degradation of the petroleum composition, to evaluate their role together with native microorganisms in the process of restoring the soil profile, and to prove the effectiveness of the use of adsorbents when carrying out reclamation measures. In this scientific work, destructors were used: Ecoil, Ecosail, Bionetik, Lenoil, Microbe-hidro and adsorbent (Spill-sorb) as well as the studied soil from various fields of the city of Nizhnevartovsk in particular: Tyumenskoe field, Strezhevoy Oil Pipeline, Sovetskoye Oil Pipeline, Oil Pipeline Nizhnevartovskoe, Uzunskoe field. The studies were carried out in laboratory conditions, where special conditions were created for conducting the experiment. The percentage of oil in the analyzed samples was determined by IR spectrometry using a KN-3 Concentrator analyzer. At the first stages of the study, the percentage of oil was determined with and without the use of an adsorbent (Spill-sorb). Then the adsorbent was removed and studies were carried out on samples with and without the use of adsorbent. The paper presents the results of three months of research. As a result, the research data obtained proved the feasibility and economic benefit of using adsorbents before using biodestructors, and also proved the synergistic relationship between biodestructors and local indigenous microorganisms. The results obtained also proved that with the help of an adsorbent, the period of use of biodestructors can be reduced from three years to two. The economic efficiency will be 124,500 rubles per 1000m<sup>2</sup> for three seasons.

**Keywords:** bioremediation, bacteria, pollutants, biodegradants, soil, adsorbent

Нефть (от тур. *neft*, через перс. «нефт»; восходит к аккадскому «напатум» – вспыхивать, воспламенять) – ископаемое, которое относится к осадочным породам, к таким как песок, известняк, каменный уголь и т.д. Нефть обычно образуется на глубине 1,2–2 км. Вблизи к поверхности и на поверхности земли нефть превращается в густую массу (асфальт, битум), в более глубоких слоях нефть насыщена нефтяными газами. Данный ресурс обладает определенными свойствами – гореть и выделять тепловую энергию, что делает его незаменимым на производстве и в промышленности.

Так же как и все горючие ископаемые, нефть относится к определенному семейству – каустобиолитам – это греческое слово, что означает «каустос» – горючий, «биос» – жизнь, «литос» – камень (горючий живой камень).

Нефть – комплексное соединение, и в основном это углеводородные и углеродные вещества. Так как нефть является сложной смесью, то при определении состава нефти отдельно выделяют химические элементы, которые входят в состав данного сырья и отдельно выделяют составные части. В составе нефти из химических элементов присутствует углерод 84–87%, водород 12–14%, кислород, азот, сера 1–2%. Из составных частей в нефти выделяют углеводородную, асфальто-смолистую, порфирины, серу и золу [1].

В последнее время в нефти также выделили хемофоссилии, вещества явно биогенного происхождения, они присутствуют или целиком, или в виде фрагментов. Присутствие последних утвердило мнение биогенной парадигмы ученых о том, что нефть имеет органическое происхождение, хотя многие ученые доказали то, что нефть также может иметь и абиогенное происхождение.

Если рассматривать нефть как загрязнитель окружающей среды, можно сказать следующее: в тех местах, где залегают нефть, то есть под землей, она не является загрязнителем и не наносит никакого вреда окружающей среде. Если происходит естественный выход нефти на поверхность земли или разлив нефти при авариях, это становится серьезной проблемой. Доказано, что данный вид загрязнителя обладает не только прямым воздействием на окружающую среду, но и косвенным, которое может продолжаться десятилетиями, тем более в условиях севера. При разливе нефти она начинает проникать в более глубокие слои почвы, мощность битуминизированного слоя иногда может достигать 40–50 см [2]. Впослед-

ствии разлива постепенно начинается испарение низкокипящих фракций, гумусовая часть земли приобретает смолисто-черную окраску, верхние частицы почвы склеиваются, что препятствует доступу кислорода.

В составе почвенного воздуха скапливаются легкие канцерогенные фракции нефти. Нехватка кислорода способствует созданию анаэробных условий, что нарушает окислительно-восстановительные процессы почвенной среды. Склеивающиеся частицы также не проводят воду. Таким образом, нарушается воздушный, водный, температурный баланс почвы. Присутствие нефтепродуктов в пределах распространения живых организмов подавляет процессы аммонификации и нитрификации, впоследствии резко снижается самоочищающаяся способность почвы. Постепенно начинают погибать продуценты, консументы и редуценты, живущие как на поверхности земли, так и под ней. Самоочищающийся процесс в почвенной среде происходит постоянно, а особенно быстро в условиях теплого климата, под влиянием огромного количества микроорганизмов, которые населяют эти территории. В условиях севера самоочищающиеся процессы, из-за вечной мерзлоты, проходят слишком медленно, нефть может подвергаться деградации в течение 15–20 лет [2]. Процесс самоочищения все-таки идет, и проходит он в три этапа. Первый этап длится 1,5–2 года, за этот период содержание нефти снижается почти на 40–50%. Второй этап длится 3–4 года, за этот период нефть разлагается под влиянием местных аборигенных микроорганизмов, при этом разрушаются метано-нафтеневые токсичные фракции, которые оказывают особое негативное влияние на геобиоты и геофлору. Третий этап продолжается почти 4–4,5 года. За это время с помощью микроорганизмов разрушаются почти все токсичные соединения, в том числе образованные на поверхности почвы, так называемые кыры (жесткие корочки), которые не дают возможность растениям свободно расти. Таким образом с течением времени почва очищается, продукты разложения постепенно включаются в почвенный гумус, частично растворяются и удаляются из почвенного профиля. Данный процесс, как уже было сказано выше, длится слишком долго, поэтому необходимо проводить рекультивационные мероприятия.

Для восстановления земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, чаще всего применяют биоремедиацию [3–5]. Сущ-

ность данного метода заключается в том, что с помощью искусственно созданных микроорганизмов происходит очистка загрязненного почвенного профиля. При правильном подборе биодеструкторов (микроорганизмов) процесс рекультивации занимает не более трех лет.

Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые было исследовано влияние биодеструкторов: Экойл, Экосейв, Бионетик, Ленойл, Microbe-hidro на рекультивационные процессы, с применением адсорбента и без него.

Определить влияние биодеструкторов в процессе деградации нефтяного состава, оценить их роль совместно с аборигенными микроорганизмами в процессе восстановления почвенного профиля и доказать эффективность применения адсорбентов при проведении рекультивационных мероприятий.

Задачи исследования:

1. Изучить биодеструкторы, используемые в России для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.
2. С помощью лабораторных методов выявить более продуктивные штаммы бактерий.
3. Доказать взаимосвязь между местными (аборигенными) микроорганизмами (микрофлорой) и биодеструкторами.
4. С помощью сравнительного метода определить целесообразность применения адсорбентов перед внесением биодеструкторов.
5. Определить экономическую эффективность применения адсорбентов до внесения биодеструкторов.

#### Материалы и методы исследования

Для проведения исследования авторы использовали биопрепараты (биодеструкторы): Экойл, Экосейл, Бионетик, Ленойл, Microbe-hidro, незагрязненную почву (стандарт). Почва, загрязненная нефтепродуктами, авторам была предоставлена специалистами, работающими на разных месторождениях г. Нижневартовска. В частности, Тюменское м/р, Нефтепровод Стрежевой, Нефтепровод Советское, Нефтепровод Нижневартовское, Узунское м/р. Исследования проводили в лаборатории химии и экологии филиала Тюменского индустриального университета в г. Нижневартовске, где были созданы условия для проведения опыта. Температура среды варьировалась в пределах 19–22 °С, влажность 40–60%, что соответствует стандарту микроклимата производственной среды в зимний период.

Процентное содержание нефти в анализируемых пробах определяли методом ИК-спектроскопии на анализаторе «Концентратомер КН-3» [6]. Результат определения содержания нефтепродуктов в почве  $X_{\text{изм.}}$  (мг/кг) рассчитывали по формуле

$$X_{\text{изм.}} = \frac{C_{\text{изм.}} \cdot V \cdot V_2 \cdot V_{\text{элюат}}}{M \cdot V_1 \cdot V_{\text{ал}}},$$

где  $C_{\text{изм.}}$  – показания прибора, мг/дм<sup>3</sup>;

$M$  – масса навески образца для анализа, мг;

$V$  – суммарный объем экстракта, см<sup>3</sup>;

$V_1$  – объем экстракта, взятый для разбавления, см<sup>3</sup>;

$V_2$  – объем экстракта, полученный после разбавления, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{ал}}$  – объем аликвоты экстракта, введенной в хроматографическую колонку, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{элюат}}$  – объем элюата, полученного после пропускания экстракта через колонку, см<sup>3</sup>.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения исследования авторы взяли загрязненную почву с месторождений, почву (стандарт), которую искусственно насытили нефтепродуктами и поместили в пластмассовые контейнеры. Затем взяв предварительно по 100 г почвы, определили в них процентное содержание нефтепродуктов с помощью анализатора «Концентратомер КН-3». Через два дня на поверхности исследуемых проб разместили адсорбент (Spill-sorb) и оставили на одну неделю. По необходимости производили незначительный полив, рыхление проб и следили за состоянием микроклимата. Спустя одну неделю с поверхности проб авторы удалили используемый адсорбент и повторно определили остаточное количество нефтепродуктов (табл. 1). Затем в исследуемые пробы внесли биодеструкторы [7]. В течение одного месяца авторы проводили необходимые манипуляции для соблюдения нормального прохождения исследования. По истечении одного месяца с помощью «Концентратомер КН-3» опять определили процентное содержание нефтепродуктов, результаты представлены в табл. 2.

По истечении двух месяцев авторы с помощью «Концентратомер КН-3» снова определили процентное содержание нефтепродуктов, результаты представлены в табл. 3.

Экономическая эффективность применения адсорбентов до и после внесения биодеструкторов представлена в табл. 4 и 5.

**Таблица 1**

Содержание нефтепродуктов в исследуемых пробах

Содержание нефтепродуктов с адсорбентом			Содержание нефтепродуктов после применения адсорбента	
Место отбора проб	Содержание н/пр. мг/кг	Содержание н/пр. в %	Содержание н/пр. мг/кг	Содержание н/пр. в %
Проба с нефтью (стандарт)	329346,0	32,9	31692,39	3,17
Нефтепровод Стрежевой	98188,2	9,2	9615,84	0,96
Нефтепровод Советское	106137,9	10,6	11208,88	1,12
Тюменское м/р	57671,5	5,8	5996,24	0,60
Узунское м/р	173420,8	17,3	16710,09	1,67
Нефтепровод Нижневартовское	14000,0	14,0	1513,20	1,51

**Таблица 2**

Содержание нефтепродуктов в исследуемых почвах

№	Место отбора проб	Содержание н/пр мг/кг	Содержание н/пр в %
1	Стандарт б/а (Экойл)	21209,8	2,1
2	Стандарт с адсор. (Экойл)	10088,0	1,0
3	Стандарт б/а (Экосейв)	11900	1,2
4	Стандарт с адсор. (Экосейв)	9240,0	1,0
5	Стандарт б/а (Бионетик)	163224,0	1,6
6	Стандарт с адсор. (Бионетик)	10010,0	1,0
7	Стандарт б/а (Microbe-hidro)	12420,0	1,2
8	Стандарт с адсор. (Microbe-hidro)	12028,5	1,2
9	Стандарт б/а (Ленойл)	10206,0	1,0
10	Стандарт с адсор. (Ленойл)	9018,0	0,8
11	Нефтепровод Стрежевой б/а (Экосейв)	9624,8	0,96
12	Нефтепровод Стрежевой с адсор. (Экосейв)	8371,8	0,8
13	Нефтепровод Советское б/а (Ленойл)	6551,5	0,66
14	Нефтепровод Советское с адсор. (Ленойл)	1184,0	0,4
15	Тюменское м/р, б/а (Microbe-hidro)	3897,1	0,3
16	Тюменское м/р, с адсор. (Microbe-hidro)	2921,2	0,12
17	Узунское м/р, б/а (Экойл)	8550,3	0,86
18	Узунское м/р, с адсор. (Экойл)	6281,0	0,6
19	Нефтепровод Нижневартовское б/а (Бионетик)	14288,4	1,4
20	Нефтепровод Нижневартовское с адсор. (Бионетик)	12830,4	1,3

**Таблица 3**

Содержание нефтепродуктов в исследуемых почвах

№	Место отбора проб	Содержание н/пр мг/кг	Содержание н/пр в %
1	Стандарт б/а (Экойл)	16777,6	1,7
2	Стандарт с адсор. (Экойл)	8445,6	0,8
3	Стандарт б/а (Экосейв)	9018,0	0,8
4	Стандарт с адсор. (Экосейв)	2296,0	0,2
5	Стандарт б/а (Бионетик)	11856,0	1,2

Окончание табл. 3

№	Место отбора проб	Содержание н/пр мг/кг	Содержание н/пр в %
6	Стандарт с адсор. (Бионетик)	7692,3	0,8
7	Стандарт б/а (Microbe-hidro)	12174,6	1,2
8	Стандарт с адсор. (Microbe-hidro)	3843,2	0,4
9	Стандарт б/а (Ленойл)	7692,3	0,8
10	Стандарт с адсор. (Ленойл)	6551,5	0,66
11	Нефтепровод Стрежевой б/а (Экосейв)	7486,8,8	0,75
12	Нефтепровод Стрежевой с адсор. (Экосейв)	6551,5	0,66
13	Нефтепровод Советское б/а (Ленойл)	6551,5	0,66
14	Нефтепровод Советское с адсор. (Ленойл)	1184,0	0,4
15	Тюменское м/р, б/а (Microbe-hidro)	3897,1	0,3
16	Тюменское м/р, с адсор. (Microbe-hidro)	2921,2	0,12
17	Узунское м/р. б/а (Экойл)	8550,3	0,86
18	Узунское м/р. с адсор. (Экойл)	6281,0	0,6
19	Нефтепровод Нижневартовское б/а (Бионетик)	3934,6	0,4
20	Нефтепровод Нижневартовское с адсор. (Бионетик)	2919,6	0,3

Таблица 4

Экономическая эффективность применения адсорбентов до внесения биодеструкторов

	Цена (1 кг)	Расход на 1000 м <sup>2</sup> (в кг)	Расход за сезон (руб.)
Сорбент (Spill-Sorb)	264	125	33000
Экойл	4500	35	157500
Ленойл	4000	35	140000
Microbe-hidro	5067	35	177345
Бионетик	5000	35	175000
Экосейв	5000	35	175000

Таблица 5

Сравнение затрат на примере применения Сорбента (Spill-Sorb) и Экойл

	Затраты 1-й год, руб.	Затраты 2-й год, Экойл адсор., руб.	Затраты 3-й год, Экойл адсор., руб.	Итого
Сорбент (Spill-Sorb)	33000	157500	157500	348000
Экойл	157500	157500	157500	472500
Экономия			124500	

### Выводы

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Полученные данные доказали целесообразность и экономическую выгоду применения адсорбентов перед применением биодеструкторов.

2. Результаты по содержанию нефтепродуктов при применении биодеструкторов

с местными загрязненными пробами значительно превосходят результаты со стандартом. Можно предположить, что аборигенные микроорганизмы вместе с биодеструкторами дают значительно лучшие результаты. Это говорит о том, что между ними устанавливается синергическая связь, положительно влияющая на рекультивационные процессы.

3. Все биодеструкторы показали положительные результаты. Примечательно то,

что результаты почти не разнятся между собой, кроме Бионетика.

4. Полученные результаты доказали, что с помощью адсорбента срок применения биодеструкторов можно сократить с трех лет до двух. Экономическая эффективность при этом составит 124500 руб. на 1000 м<sup>2</sup> в течение трех сезонов.

#### Список литературы

1. Костромин Р.Н. Химический состав нефти: учебное пособие. Казань: Издательство КНИТУ, 2018. 160 с.
2. Руденко Е.Ю. Исследование влияния нефти на биологическую активность черноземной почвы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. № 10 (4). С. 719–727.
3. Николаева А.В., Трошин М.А., Мещеряков С.В., Остах О.С., Остах С.В. Идентификация и прогнозирование

результативности применения наилучших доступных технологий обезвреживания нефтесодержащих отходов // Экологический вестник России. 2017. № 2. С. 14–18.

4. Tavadze B.D., Valieva A.F. Comparative analysis of biodestructors used in bioremediation at land reclamation contaminated with. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. P. 1010012008.

5. Вельков В.В. Биоремедиация: принципы, проблемы, подходы // Биотехнология. 1995. № 3–4. С. 20–27.

6. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии, ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 от 10 ноября 1998 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293831/4293831615.htm> (дата обращения: 01.04.2024).

7. Тавадзе Б.Д. Влияние биодеструкторов в процессе детоксикации поллютантов на загрязненных почвах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 4. С. 29–35. DOI: 10.17513/mjpf.13527.