

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОРФО-ДИАТОМИТОВОГО МЕЛИОРАНТА НА ФОРМИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ТРАВЯНОГО ПОКРОВА ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Н.Ю. Антонинова¹, А.И. Усманов¹, А.В. Собенин¹, А.А. Горбунов¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия,
e-mail: direct@igduran.ru

Аннотация: Актуальность решения проблем рекультивации нарушенных земель очевидна в связи с достаточно активным освоением месторождений полезных ископаемых, отработка которых часто сопровождается техногенными авариями локального характера, в том числе разливами нефтепродуктов, как при их хранении, так и при заправке машин и механизмов. Основной задачей цикла экспериментальных исследований является определение оптимальных концентраций внесения торфо-диатомитового мелиоранта (ТДМ) при рекультивации земель, нарушенных вследствие возникновения подобного рода аварий. Приведены результаты прикладных исследований влияния внесения ТДМ на формирование устойчивого травяного покрова. Определение элементного состава проб проведено с использованием атомно-абсорбционного метода и метода ИК-спектроскопии в лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН. В результате исследований выявлено благоприятное влияние исследуемого мелиоранта на степень приживаемости костреца безостого как одного из наиболее используемых растений на биологическом этапе рекультивации, а значит и на возможность формирования устойчивого травяного покрова, как при высокой, так и при средней степени загрязнения. Применение с ТДМ гуминовых и бактериальных препаратов на данном этапе исследований не оказало существенного влияния на снижение фитотоксичности почв и деструкцию углеводов, за исключением образца ГТН+Б50, где концентрация углеводов снизилась на 60%.

Ключевые слова: рекультивация, нарушенные земли, фиторемедиация, фитотоксичность, деструкция, мелиорант, торф, диатомит, гумат калия.

Благодарность: Статья подготовлена в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022-2024). Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горно-промышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании (FUWE-2022-0002), рег. № 1021062010532-7-1.5.1.

Для цитирования: Антонинова Н. Ю., Усманов А. И., Собенин А. В., Горбунов А. А. Исследование влияния торфо-диатомитового мелиоранта на формирование устойчивого травяного покрова при рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 131–141. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_131.

Effect of peat–diatomite ameliorant on grass cover persistency in disturbed land reclamation

N.Yu. Antoninova¹, A.I. Usmanov¹, A.V. Sobenin¹, A.A. Gorbunov¹

¹ Institute of Mining, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia,
e-mail: direct@igduran.ru

Abstract: The urgency of reclamation of land disturbed by extensive mineral mining is apparent as extensive mineral mining often causes local manmade accidents, including outflows of oil products both in storage and in fueling. The primary objective of the experimental research cycle is optimization of concentrations of peat–diatomite ameliorant (PDA) in reclamation of land disturbed by such accidents. This article describes the applied research results on the effect of PDA application on grass cover persistency. The element analysis of samples was performed using the methods of atomic absorption spectrometry and infrared spectrometry at the Mining Ecology Laboratory at the Institute of Mining UB RAS. The studies proved the favorable effect of PDA on the survival ability of smooth brome grass which is a common plant for biological reclamation and, consequently, on the persistency of grass cover both at high and low degree of pollution. Combination of PDA with humin and bacterial products at this stage of the research showed no essential influence on reduction of phytotoxicity of soil and degradation of hydrocarbons, except for sample PDA+B50 which decreased concentration of hydrocarbons by 60%.

Key words: reclamation, disturbed land, phytoremediation, phytotoxicity, degradation, ameliorant, peat, diatomite, potassium humate.

Acknowledgements: The study was carried out under State Contract No. 075-00412-22 PR. Topic 2 (2022-2024): Development of GeoInformation Technologies for Mining Territory Safety Assessment and Adverse Process Progression Prediction in Subsoil Use (FUWE-2022-0002), Registration No. 1021062010532-7-1.5.1.

For citation: Antoninova N. Yu., Usmanov A. I., Sobenin A. V., Gorbunov A. A. Effect of peat–diatomite ameliorant on grass cover persistency in disturbed land reclamation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5):131-141. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_131.

Введение

Актуальность решения проблем рекультивации нарушенных земель очевидна в связи с достаточно активным освоением месторождений полезных ископаемых, при отработке которых часто возникают техногенные аварии локального характера, в том числе разливы нефтепродуктов, как при их хранении, так и при заправке машин и механизмов. Загрязнение земельных ресурсов углеводородами приводит к комплексным изменениям грунтов, в связи с их токсичным влиянием на флору и фауну [1 –

4]. Для восстановления требуются вложения больших средств на проведение рекультивационных работ. Кроме того, сложности возникают и из-за отсутствия необходимого объема заскладированного плодородного слоя и снижения его качественных характеристик в процессе хранения [5 – 7].

Мероприятия по рекультивации разрабатываются в соответствии с требованиями актуальной на сегодняшний день нормативной документации, в том числе ГОСТ Р 59057-2020 «Охрана окружающей среды Земли. Общие требо-

вания по рекультивации нарушенных земель», ГОСТ 57446-2017. «НДТ. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия», с учетом как природно-климатических условий, фактического состояния качественного состава техногенных грунтов, перспективы развития района, так и целевого назначения и основных направлений использования земель, рекультивированных после окончания разработки месторождения.

Наибольший практический интерес на биологическом этапе вызывает возможность применения сорбентов и мелиорантов, способных нейтрализовать токсичное действие потенциальных загрязнителей [8–10]. Кроме того, мелиоранты, в составе которых представлены материалы с высоким содержанием органического вещества, эффективны в части восстановления почвообразовательных процессов техногенных грунтов, так как положительно влияют на динамику углеводородокисляющих микроорганизмов и приживаемость растений. К таким материалам можно отнести торф и сапрпель, так как это наиболее распространенные виды сырья на территории Российской Федерации, что обеспечивает мелиорантам на их основе конкурентное преимущество [11–15].

Мелиоранты способны прорастанию и дают возможность многолетним травам закрепиться на загрязненных участках, что ускоряет процесс деструкции углеводородов нефти, за счет того что в ризосфере растений образуются углеводородокисляющие микроорганизмы. Данный метод называется фиторемедиацией. Он ограничен из-за высокой токсичности углеводородов, в связи с чем авторами рекомендуется применение мелиорантов совместно с посадкой семян многолетних трав, что подтверждено результатами исследований, опи-

санных в данной статье. В связи с этим целью настоящего исследования является изучение влияния торфо-диатомитового мелиоранта с бактериальной модификацией и модификацией гуматом калия на формирование устойчивого травяного покрова при рекультивации нарушенных земель.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучение степени фитотоксичности (учитывается длина надземной и подземной частей растений, биомасса, всхожесть) почв, загрязненных различными концентрациями углеводородов нефти по отношению к кострецу безостому (*Brōmus inērmis*) с применением торфо-диатомитового мелиоранта, модифицированного гуматом калия, бактериальным препаратом и без добавок;
- динамика деструкции углеводородов нефти в образцах без добавления мелиоранта и с добавлением различных его модификаций.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на базе лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН.

В исследовании использовали следующие материалы:

- штамм микроорганизмов *Bacillus brevis*;
- гумат калия в виде раствора (N – 2,1%; P₂O₅ – 0,3%; K₂O – 6,4%; pH – 6,7);
- торфо-диатомитовый мелиорант (ТДМ) [16];
- 4) нефтешламы (содержат в среднем 50–55% тяжелых нефтяных остатков, остальное – твердые примеси, влажность 65–70%, валовое содержание нефтепродуктов, г/кг – 120,43);
- дерново-подзолистая почва (массовая доля органического вещества – 6–7%; N – 0,31%; P₂O₅ – 189 ppm;

K₂O – 165 ppm; валовое содержание нефтепродуктов – 0,078 г/кг);

- семена костреца безостого (лат. *Brōmus inērmis*). Кострец безостый – многолетнее растение из семейства злаковых, является одним из основных составляющих травосмесей, используемых при рекультивации нарушенных земель. Однако эта культура хорошо развивается на слабокислых и нейтральных почвах и требовательна к обеспеченности основными питательными элементами, а именно азотом, фосфором и калием.

Валовое содержание углеводов нефти в почве определяли методом ИК-спектрометрии с использованием анализатора АН-2 согласно методике ФР.1.31.2011.11314 измерения массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв и донных отложений на анализаторе АН-2. Массовую концентрацию нефтепродуктов в анализируемой пробе почвы рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{C_x + V_{\text{эк}}}{m}, \quad (1)$$

где X – массовая концентрация нефтепродуктов в пробе, мг/кг; C_x – концентрация нефтепродукта в элюате, считанная с цифрового табло концентромера АН-2, мг/дм³; $V_{\text{эк}}$ – объем экстрагента, см³; m – масса навески анализируемой пробы, г.

Содержание ионов калия определяли атомно-абсорбционным методом при помощи Spectr AA-240 FS (Varian Optical Spectr. Instrum, Australia). Минерализацию проб для определения валового содержания калия производили в концентрированной HNO₃ при помощи лабораторной микроволновой системы MARS 5 (СЕМ, USA). Подвижные формы калия определялись в вытяжках 0,5 М HNO₃ в соотношении 1:25 (почва:раствор).

Подвижные формы фосфора определяли по ГОСТ Р 54650-2011, общий азот по ГОСТ Р 58596-2019, п. 7. В исследуе-

мых образцах рН измеряли с помощью ph-meter Hanna HI 99121. Массу измеряли на весах DEMCOM DL-103, с точностью до 0,001 г.

Эксперимент проводили в трех вариантах с добавлением НШ в чистый грунт в пропорциях НШ: чистый грунт – 1:1 и 1:2 с добавлением 20 г ТДМ, как чистого, так и с добавками гумата калия и микроорганизмов. Кроме того, в каждый из образцов с равномерным распределением по поверхности производилась посадка семян костреца безостого в количестве 20 шт. Температура окружающей среды поддерживалась на уровне 21 – 23°С, влажность грунта поддерживалась на уровне 55 – 60%. Также исследовались образцы без добавления НШ (контроль) и с добавлением НШ без мелиоранта.

- К – контроль (чистая почва с посадкой семян *Brōmus inērmis*).
- ГН100 – Грунт + НШ (Степень загрязнения 100 г грунта /100 г НШ без добавления ТДМ) и ГН50 (Степень загрязнения 50 г НШ /100 г грунта без добавления ТДМ).
- ГТН100 – Грунт + ТДМ + НШ (Степень загрязнения 100 г грунта /100 г НШ + 20 г ТДМ) и ГТН50 (Степень загрязнения 50 г НШ / 100 г грунта + 20 г ТДМ).
- ГТН+Г100 – Грунт + ТДМ + НШ + Гумат калия (Степень загрязнения 100 г грунта /100 г НШ + 20 г ТДМ с добавлением гумата калия) и ГТН+Г50 (50 г НШ /100 г грунта + 20 г ТДМ с добавлением гумата калия).
- ГТН+Б100 – Грунт + ТДМ + НШ + Бактерии (Степень загрязнения 100 г грунта / 100 г НШ + 20 г ТДМ с добавлением бактерий) и ГТН+Б50 (50 г НШ /100 г грунта + 20 г ТДМ с добавлением бактерий).

Результаты исследования

Оценка степени фитотоксичности почв, рекультивируемых при помощи

ТДМ с бактериальными и гуминовыми добавками, определялась по значению фитотоксичности почв (Тi), за основу которой взята формула фитотоксичности почв, предложенная Л.П. Брагинским (1993), с добавлением четырех критериев, которые, по мнению авторов [17], являются наиболее значимыми для определения фитотоксичности.

$$T = k_N \cdot \left(\frac{N_k - N_x}{N_k} \right) + k_L \cdot \left(\frac{L_k - L_x}{L_k} \right) + k_l \cdot \left(\frac{l_k - l_x}{l_k} \right) + k_M \cdot \left(\frac{M_k - M_x}{M_k} \right), \quad (2)$$

где T – фитотоксичность, %; k_i – коэффициент значимости частного критерия; N_k – всхожесть растений в контрольном образце, шт.; N_x – всхожесть растений в исследуемом образце, шт.; L_k – длина ростков растений в контрольном образце, см; L_x – длина ростков растений в исследуемом образце, см; l_k – длина корней растений в контрольном образце, см; l_x – длина корней растений в ис-

следуемом образце, см; M_k – биомасса растений в контрольном образце к концу исследований, мг; M_x – биомасса растений в исследуемом образце к концу исследований, мг.

Определение коэффициентов значимости данных критериев проводили по системе весовых коэффициентов Фишберна [17 – 18]:

$$k_i = \frac{n}{1 + 2 + \dots + n}, \quad (3)$$

где k_i – коэффициент значимости частного критерия; n – количество факторов в рассмотрении.

Результаты оценки степени фитотоксичности почв представлены в таблице, длина ростков и корней – на рис. 1 и 2.

По итогам анализа степени фитотоксичности НШ на исследуемые растения, наблюдается снижение влияния негативного воздействия НШ в результате применения ТДМ без использования гуминовых и бактериальных препаратов. Так, наилучший результат показал исследуемый образец под шифром ГТН100 –

Результаты определения степени фитотоксичности почв спустя 31 день эксперимента Soil phytotoxicity degree estimates after 31 days of experimentation

| Шифр | pH | N_x – всхожесть растений в исследуемом образце, шт. | L_x – длина ростков растений в исследуемом образце, мм | l_x – длина корней растений в исследуемом образце, мм | M_x – биомасса растений в исследуемом образце к концу исследований, мг | T – фитотоксичность, % |
|----------|------|---|--|---|--|--------------------------|
| ГН100 | 7,96 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,000 |
| ГТН100 | 7,66 | 15 | 151,70 | 55,63 | 57,05 | 0,042 |
| ГТН+Г100 | 7,76 | 13 | 138,55 | 50,53 | 53,40 | 0,140 |
| ГТН+Б100 | 7,7 | 16 | 144,26 | 56,00 | 39,10 | 0,056 |
| ГН50 | 7,96 | 12 | 71,00 | 26,25 | 5,17 | 0,476 |
| ГТН50 | 7,81 | 9 | 177,11 | 63,04 | 48,21 | 0,103 |
| ГТН+Г50 | 7,87 | 9 | 130,35 | 62,73 | 24,73 | 0,207 |
| ГТН+Б50 | 7,84 | 14 | 148,19 | 58,38 | 37,55 | 0,081 |

| Шифр | N_k – всхожесть растений в контрольном образце, шт. | L_k – длина ростков растений в контрольном образце, см | l_k – длина корней растений в контрольном образце, см | M_k – биомасса растений в контрольном образце к концу исследований, мг | T – фитотоксичность, % |
|------|---|--|---|--|--------------------------|
| К | 14 | 139,21 | 66,79 | 66,82 | 0,000 |

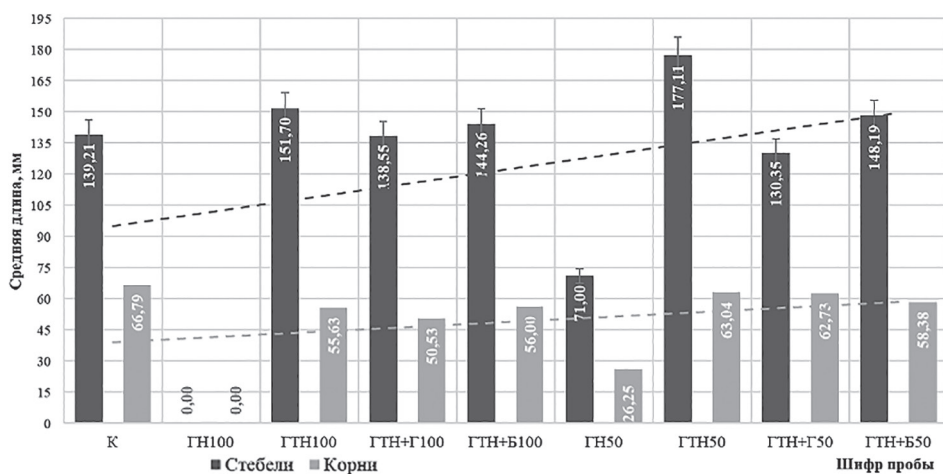


Рис. 1. Средняя длина ростков и корней исследуемых растений
 Fig. 1. Average lengths of sprouts and roots of test plants

Грунт + ТДМ + НШ (степень загрязнения 100 г грунта /100 г НШ + 20 г ТДМ), в то время как на аналогичном исследуемом образце без добавления ТДМ – ГН100 (Грунт + НШ (степень загрязнения 100 г грунта /100 г НШ без добавления ТДМ)) растительность полностью отсутствовала.

Анализ образцов с более низкой концентрацией загрязняющих веществ показал почти аналогичный результат. С не-

большой разницей в 0,022% большую эффективность показал образец ГТН + Б50 (50 г НШ /100 г грунта + 20 г ТДМ с добавлением бактерий) по сравнению с ГТН50. В то же время образец с грунтом и НШ без добавления ТДМ (ГН50) аналогично более высокой степени загрязнения негативно проявил себя по отношению к исследуемым растениям. В отличие от более высокой степени загрязнения, в данном образце проросло

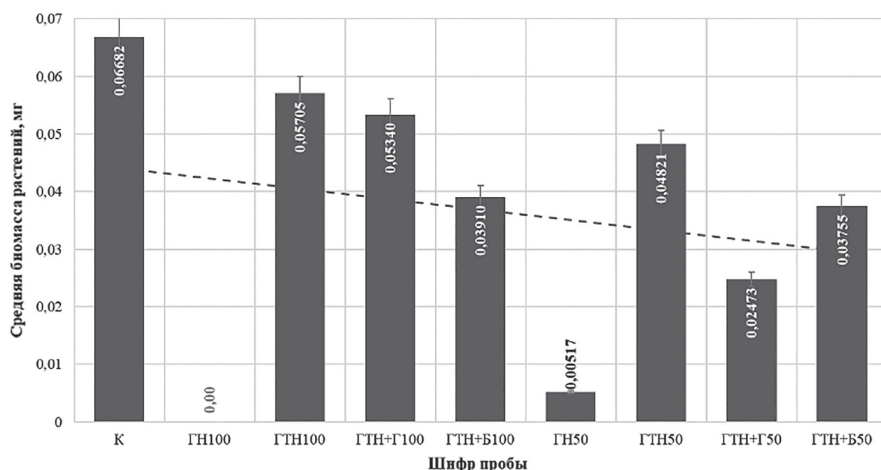


Рис. 2. Средняя биомасса исследуемых растений
 Fig. 2. Average biomass of test plants

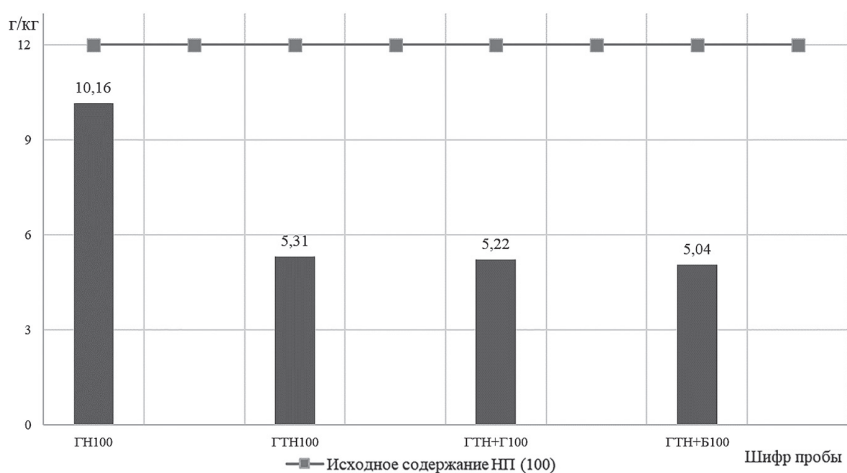


Рис. 3. Деструкция углеводородов нефти спустя 31 день при внесении 100 г НШ
 Fig. 3. Destruction of oil hydrocarbons after 31 days with the introduction of 100 g of NS

12 шт. семян, но воздействие углеводородов негативно отразилось на их биомассе.

Что касается образцов с добавлением гумата калия к ТДМ, то он не оказал существенного влияния на снижение фитотоксичности почв, в сравнении с образцами ГТН100, ГТН50, ГТН+Б100 и ГТН+Б50.

С точки зрения деструкции углеводородов нефти образцы с добавлением

ТДМ проявили себя в равной степени при степени загрязнения НШ 100 г и снизили концентрацию углеводородов на 55% по сравнению с грунтом без ТДМ, где степень деструкции составила порядка 15% (рис. 3, 4).

При степени загрязнения НШ 50 г наилучший эффект показал образец с добавлением ТДМ и бактерий (ГТН + Б50), снизив почти на 60% содержание углеводородов. Образцы с добавле-

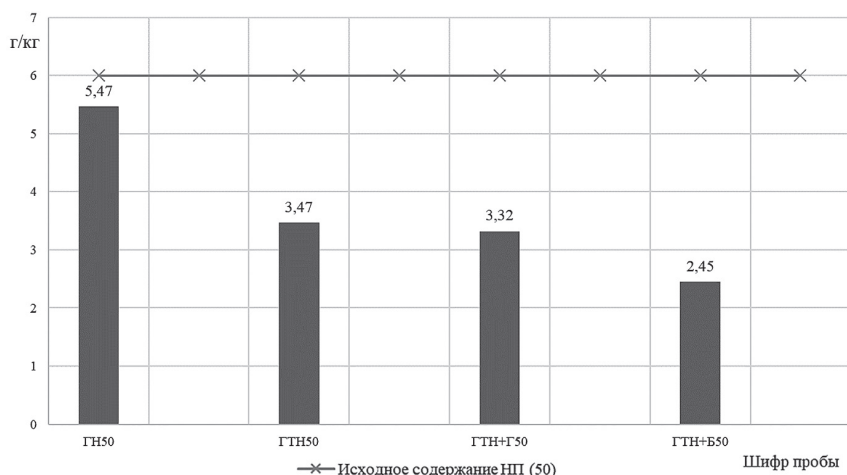


Рис. 4. Деструкция углеводородов нефти спустя 31 день при внесении 50 г НШ
 Fig. 4. Destruction of oil hydrocarbons after 31 days with the introduction of 50 g of NS

нием гумата калия (ГТН+Г50) и без него (ГТН50) показали одинаковую эффективность, снизив концентрацию углеводов на 43%, в сравнении с загрязненным грунтом (ГН50), где деструкция составила лишь 9%.

Заключение

Результаты анализов подтвердили, что торфо-диатомитовый мелиорант благоприятно влияет на степень приживаемости костреца безостого, а значит, и на возможность формирования устойчивого травяного покрова, как при высокой, так и при средней степени загрязнения. Это очень важно при рекультивации земель, загрязненных углеводородами нефти, так как в нормативах допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах, которые утверждаются постановлениями отдельных субъектов Российской Федерации, регламентируется не только уровень допустимого значения нефти и нефтепродуктов, но и степень зарастания рекультивируемых участков.

Кроме того, корневая система растений эффективно способствует дест-

рукции углеводородов нефти, так как в ризосфере растений образуются углеводородоокисляющие микроорганизмы.

В связи с этим можно утверждать, что ТДМ положительно влияет на приживаемость растений, их рост и развитие биомассы, а также деструкцию углеводородов нефти. Мелиорант способен за короткий срок (≈ 1 мес.) установить на рекультивируемой территории устойчивый дерновый слой.

Применение с ТДМ гуминовых и бактериальных препаратов на данном этапе исследований не оказало существенного влияния на снижение фитотоксичности почв и деструкцию углеводов, за исключением образца ГТН+Б50, где концентрация углеводов снизилась на 60%, однако необходимы дополнительные исследования с целью определения экономической целесообразности применения гуминовых и бактериальных препаратов в сочетании с ТДМ.

Вклад авторов

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вершинин А. А., Петров А. М., Акайкин Д. В., Игнатьев Ю. А. Оценка биологической активности дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава в условиях нефтяного загрязнения // Почвоведение. — 2014. — № 2. — С. 250–256. DOI: 10.7868/S0032180X14020130.

2. Каримуллин Л. К., Петров А. М., Вершинин А. А. Фиторекультивация и физиологическая активность нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы // Российский журнал прикладной экологии. — 2016. — № 1. — С. 14–17.

3. Cruz J. M., Corroqué N. A., Montagnoli R. N. et al. Comparative study of phytotoxicity and genotoxicity of soil contaminated with biodiesel, diesel fuel and petroleum // Ecotoxicology. 2019, no. 28, pp. 449–456. DOI: 10.1007/s10646-019-02037-x.

4. Игнатьев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Изменение углеводородного состава нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы в стандартизированных условиях инкубации // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 15. — С. 256–260.

5. Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатьев Ю. А., Петров А. М., Хабибуллин Р. Э. Влияние длительности инкубации на состав нормальных углеводородов при разных уровнях началь-

ного содержания нефти в почве // Вестник Технологического университета. — 2016. — Т. 19. — № 10. — С. 56–60.

6. Утомбаева А. А., Петров А. М., Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатьев Ю. А., Кузнецова Т. В. Динамика роста высших растений на рекультивированных нефтезагрязненных аллювиальных луговых почвах разного гранулометрического состава // Российский журнал прикладной экологии. — 2020. — № 1. — С. 60–65.

7. Jones R., Sun W., Tang C. S., Robert F. M. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons in tropical coastal soils. II. Microbial response to plant roots and contaminant // Environmental Science and Pollution Research. 2004, vol. 11, pp. 340–346. DOI: 10.1007/BF02979649.

8. Антонинова Н. Ю., Усманов А. И., Собенин А. В. Анализ процесса фиторемедиации нефтезагрязненного грунта с использованием торфо-диатомитового мелиоранта // Проблемы недропользования. — 2020. — № 4 (27). — С. 110–118. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.110.

9. Антонинова Н. Ю., Усманов А. И., Шубина Л. А., Собенин А. В. Оценка возможности применения торфо-диатомитового мелиоранта при разработке мероприятий по экологической реабилитации нарушенных экосистем // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — С. 493–500. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-493-500.

10. Рахманова Г. Ф., Шаронова Н. Л., Дегтярева И. А. Влияние наносорбента на процессы биоремедиации нефтезагрязненной почвы // Вестник Технологического университета. — 2016. — Т. 19. — № 5. — С. 149–152.

11. Adetiton D., Akinmayowa V., Olubunmi A., Olayemi A. Biodegradation of jet fuel by three gram negative bacilli isolated from kerosene contaminated soil // Pollution. 2018, vol. 4, no. 2, pp. 291–303. DOI: 10.22059/POLL.2017.241366.319.

12. Huiling Liu, Xiao Tan, Jingheng Guo, Xiaohui Liang, Qilai Xie, Shuona Chen Bioremediation of oil-contaminated soil by combination of soil conditioner and microorganism // Journal of Soils and Sediments. 2020, vol. 20, no. 5, pp. 2121–2129. DOI: 10.1007/s11368-020-02591-6.

13. Omran S. E., Shorafa M., Zolfaghari A., Toolarood A. A. S. The effect of biochar on severity of soil water repellency of crude oil-contaminated soil // Environmental Science and Pollution Research. 2020, vol. 27, no. 4, pp. 6022–6032. DOI: 10.1007/s11356-019-07246-9.

14. Khoshgoftar A., Khodaparast M., Sedighi M. Effect of residues from a burnt oil refinery on the compaction parameters and strength of clayey sand // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2021, vol. 80, pp. 6331–6341. DOI: 10.1007/s10064-021-02320-4.

15. Kirk J., Klironomos J., Lee H., Trevors J. T. The effects of perennial ryegrass and alfalfa on microbial abundance and diversity in petroleum contaminated soil // Environmental Pollution. 2005, vol. 133, no. 3, pp. 455–465. DOI: 10.1016/j.envpol.2004.06.002.

16. Усманов А. И., Горбунов А. В. Патент № 2718815 С1 РФ, МПК В09С 1/08. Способ получения композиции торфо-диатомитового мелиоранта для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами: № 2019118227: заявл. 12.06.2019; опубл. 14.04.2020.

17. Гаврилин И. И., Шигапов А. М. Оценка влияния нефти и нефтепродуктов на состояние растительности по показателям фитотоксичности почв // Системы. Методы. Технологии. — 2015. — № 3(27). — С. 144–148.

18. Горелова Г. В., Кацко И. А. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. — 475 с. **ПЛАТ**

REFERENCES

1. Vershinin A. A., Petrov A. M., Akaykin D. V., Ignatiev Yu. A. Assessment of biological activity of sod-podzolic soils of different granulometric composition in conditions of oil pollution. *Eurasian Soil Science*. 2014, no. 2, pp. 250–256. [In Russ]. DOI: 10.7868/S0032180X14020130.

2. Karimullin L. K., Petrov A. M., Vershinin A. A. Phytorecultivation and physiological activity of oil-contaminated sod-podzolic soil. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2016, no. 1, pp. 14–17. [In Russ].

3. Cruz J. M., Corroqué N. A., Montagnoli R. N. et al. Comparative study of phytotoxicity and genotoxicity of soil contaminated with biodiesel, diesel fuel and petroleum. *Ecotoxicology*. 2019, no. 28, pp. 449–456. DOI: 10.1007/s10646-019-02037-x.

4. Ignatiev Yu. A., Zainulgabidinov E. R., Petrov A. M. Changes in the hydrocarbon composition of oil-contaminated sod-podzolic soil under standardized incubation conditions. *Bulletin of Kazan technological university*. 2014., vol. 17, no. 15, pp. 256–260. [In Russ].

5. Zainulgabidinov E. R., Ignatiev Yu. A., Petrov A. M., Khabibullin R. E. The effect of incubation duration on the composition of normal hydrocarbons at different levels of initial oil content in the soil. *Bulletin of the Technological University*. 2016, vol. 19, no. 10, pp. 56–60. [In Russ].

6. Ustybayeva A. A., Petrov A. M., Zainulgabidinov E. R., Ignatiev Yu. A., Kuznetsova T. V. Dynamics of growth of higher plants on recultivated oil-contaminated alluvial meadow soils of different granulometric composition. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2020, no. 1, pp. 60–65. [In Russ].

7. Jones R., Sun W., Tang C. S., Robert F. M. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons in tropical coastal soils. II. Microbial response to plant roots and contaminant. *Environmental Science and Pollution Research*. 2004, vol. 11, pp. 340–346. DOI: 10.1007/BF02979649.

8. Antoninova N. Yu., Usmanov A. I., Sobenin A. V. Analysis of the process of phytoremediation of oil-contaminated soil using peat-diatomite meliorant. *Problems of Subsoil Use*. 2020, no. 4(27), pp. 110–118. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.110.

9. Antoninova N. Yu., Usmanov A. I., Shubina L. A., Sobenin A. V. Assessment of the possibility of using peat-diatomite meliorant in the development of measures for ecological rehabilitation of disturbed ecosystems. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, pp. 493–500. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-493-500.

10. Rakhmanova, G. F., Sharonova N. L., Degtyareva I. A. The effect of nanosorbent on the processes of bioremediation of oil-contaminated soil. *Bulletin of the Technological University*. 2016, vol. 19, no. 5, pp. 149–152. [In Russ].

11. Adetitun D., Akinmayowa V., Olubunmi A., Olayemi A. Biodegradation of jet fuel by three gram negative bacilli isolated from kerosene contaminated soil. *Pollution*. 2018, vol. 4, no. 2, pp. 291–303. DOI: 10.22059/POLL.2017.241366.319.

12. Huiling Liu, Xiao Tan, Jingheng Guo, Xiaohui Liang, Qilai Xie, Shuona Chen Bioremediation of oil-contaminated soil by combination of soil conditioner and microorganism. *Journal of Soils and Sediments*. 2020, vol. 20, no. 5, pp. 2121–2129. DOI: 10.1007/s11368-020-02591-6.

13. Omran S. E., Shorafa M., Zolfaghari A., Toolarood A. A. S. The effect of biochar on severity of soil water repellency of crude oil-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, vol. 27, no. 4, pp. 6022–6032. DOI: 10.1007/s11356-019-07246-9.

14. Khoshgoftar A., Khodaparast M., Sedighi M. Effect of residues from a burnt oil refinery on the compaction parameters and strength of clayey sand. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2021, vol. 80, pp. 6331–6341. DOI: 10.1007/s10064-021-02320-4.

15. Kirk J., Klironomos J., Lee H., Trevors J. T. The effects of perennial ryegrass and alfalfa on microbial abundance and diversity in petroleum contaminated soil. *Environmental Pollution*. 2005, vol. 133, no. 3, pp. 455–465. DOI: 10.1016/j.envpol.2004.06.002.

16. Usmanov A. I., Gorbunov A. V. *Patent RU 2718815 S1, MPK B09S 1/08*. 14.04.2020. [In Russ].

17. Gavrilin I. I., Shigapov A. M. Assessment of the influence of oil and petroleum products on the state of vegetation by indicators of phytotoxicity of soils. *Systems. Methods. Technologies*. 2015, no. 3(27), pp. 144–148. [In Russ].

18. Gorelova G. V., Katsko I. A. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika v prim-erakh i zadachakh s primeneniem Excel* [Probability theory and mathematical statistics in exam-ples and problems using Excel], Rostov-na-Donu, Feniks, 2006, 475 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Антонинова Наталья Юрьевна*¹ — канд. техн. наук.,
зав. лабораторией, e-mail: natal78@list.ru,

ORCID ID: 0000-0002-8503-639X,

*Усманов Альберт Исмагилович*¹ — младший научный сотрудник,
e-mail: albert3179@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-3650-0467,

*Собенин Артем Вячеславович*¹ — младший научный сотрудник,
e-mail: arsob@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5513-5680,

*Горбунов Алексей Александрович*¹ — лаборант,
e-mail: alex021297@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-9057-0896,

¹ Институт горного дела Уральского отделения РАН.

Для контактов: Усманов А.И., e-mail: albert3179@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*N. Yu. Antoninova*¹, Cand. Sci. (Eng.),
Head of Laboratory, e-mail: natal78@list.ru,

ORCID ID: 0000-0002-8503-639X,

*A. I. Usmanov*¹, Junior Researcher,
e-mail: albert3179@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-3650-0467,

*A. V. Sobenin*¹, Junior Researcher,
e-mail: arsob@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5513-5680,

*A. A. Gorbunov*¹, Laboratory Assistant,
e-mail: alex021297@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-9057-0896,

¹ Institute of Mining,

Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
620075, Ekaterinburg, Russia.

Corresponding author: A. I. Usmanov, e-mail: albert3179@mail.ru.

Получена редакцией 08.11.2021; получена после рецензии 10.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 08.11.2021; received after the review 10.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

