

УДК 622.882:502.5

Антонинова Наталья Юрьевна
кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией
экологии горного производства,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58;
e-mail: natal78@list.ru

Усманов Альберт Исмагилович
младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: albert3179@mail.ru

Собенин Артем Вячеславович
младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: arsob@yandex.ru

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА
ФИТОРЕМЕДИАЦИИ
НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОГО ГРУНТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТОРФО-ДИАТОМИТОВОГО
МЕЛИОРАНТА***

Аннотация:

В связи с развитием нефтедобывающего и перерабатывающего комплекса проблема загрязнения нефтью и нефтепродуктами достаточно актуальна. Саморемедиация нефтезагрязненных экосистем происходит очень медленно, кроме того, основной объем нефтедобычи сосредоточен в северных регионах, экосистема которых очень чувствительна к любому антропогенному воздействию. Таким образом, проведенные исследования позволили оценить эффективность влияния опытных образцов торфо-диатомитового мелиоранта на процесс деструкции нефтепродуктов.

Кроме того, зафиксировано увеличение содержания валовых форм калия во время активной фазы деструкции нефтепродуктов одного из основных агрохимических показателей плодородия земель.

Ключевые слова: торф, диатомит, сапропель, мелиорант, рекультивация, биоремедиация, фиторемедиация, нефть, нефтешламы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.110

Antoninova Natalia Yu.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of Laboratory of Mining Ecology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: natal78@list.ru

Usmanov Albert I.
Junior Research Worker,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: albert3179@mail.ru

Sobenin Artem V.
Junior Research Worker,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: arsob@yandex.ru

**ANALYSIS OF PHYTOREMEDIATION
PROCESS OF OIL-CONTAMINATED SOIL
WITH USE OF PEAT AND DIATOMITE
IMPROVER**

Abstract:

In connection with the development of the oil production and processing complex, the problem of oil and oil products pollution is quite relevant. Self-remediation of oil-contaminated ecosystems proceeds very slow, and in addition, the bulk of oil production is concentrated in northern regions, the ecosystem of which is very sensitive to any anthropogenic impact. Thus, the conducted studies makes it possible to evaluate the effectiveness of the influence of experimental samples of peat-diatomite meliorant on the process of destruction of petroleum products.

The study enables also to trace an increase in the content of total forms of potassium during the active phase of destruction of petroleum products, which may indicate that potassium is a product of the decomposition of petroleum products.

Key words: peat, diatomite, sapropel, meliorant, reclamation, phytoremediation, oil, oil slimes.

Введение

Нефть – горючая маслянистая жидкость природного происхождения, используемая практически во всех сферах человеческой деятельности. В процессе ее добычи, транспортировки, хранения и использования очень часто происходят внештатные ситуации, в результате чего нефть загрязняет большие площади как земель, так и водоемов.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-00293-18-00, тема № 0405-2019-0005

Разливы нефти и нефтепродуктов происходят, как правило, из-за неправильной эксплуатации либо из-за изношенности оборудования. Например, один из недавних случаев: 29 мая 2020 г. в г. Норильске из резервуара на территории ТЭЦ-3 вылилось около 21 тыс. т дизельного топлива.

Последствия таких загрязнений очень печальны для окружающей природной среды, т.к. проникновение нефтяных углеводородов в почву вызывает изменения ее химического состава, свойств и биогеоценотических функций [1]. Состав гумуса почвы изменяется нефтью так, что почва становится очень бедным питательным субстратом для растений [2]. Кроме того, гидрофобные частицы нефтепродуктов препятствуют доступу влаги и кислорода к корням [3].

К текущему моменту большое количество работ посвящено решению данной проблематики, так, например, в работах [4 – 5] рассмотрены технический и биологический этапы рекультивации и три группы биоремедиационных технологий *ex situ, onsite, in site*:

- *ex situ* – с извлечением загрязненной почвы для дальнейшей утилизации;
- *onsite* – загрязненная почва остается на месте, только при необходимости снимается верхний, сильно загрязненный слой;
- *in site* – когда загрязнение находится под поверхностью.

Каждая из технологий имеет свои плюсы и минусы, и решение о применении той или иной технологии принимается после изучения конкретного места разлива нефтепродуктов.

Также с целью нейтрализации нефтепродуктов в почве активно используют торф, отходы пивоварения, осадки сточных вод, диатомит, вермикулит [6 – 9].

Несмотря на большое количество работ, посвященных тематике нефтезагрязненных почв, проблема далека от окончательного решения, поэтому вопросы, связанные с разработкой новых эффективных сорбентов-мелиорантов, способных за короткий временной период восстанавливать агрохимические характеристики загрязненных земель с минимальными экономическими вложениями, достаточно актуальны.

В связи с этим целью данного исследования является изучение влияния различных концентраций органоминеральных мелиорантов на способность ремедиации нефтезагрязненного грунта с оценкой влияния биологических растительных ресурсов на данный процесс.

Материалы и методы исследования

В связи с вышеуказанным в лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН были проведены натурные эксперименты на опытно-промышленной базе в с. Фомино Свердловской области с июня по октябрь 2020 г. В этот период был отобран техногенный грунт для микрополевых опытов. Торфо-диатомитовый мелиорант (ТДМ) – собственная разработка ООО «Экоинноватор».

В качестве загрязнителя были использованы:

1. Нефтешламы с очистных сооружений ОАО «РЖД» города Артемовский Свердловской области (содержат в среднем 50 – 55 % тяжелых нефтяных остатков, остальное – твердые примеси, как правило, песок, влажность 45 – 50 %);

2. Нефть плотностью – 0,849 г/см³ или 35° API, содержание серы – 0,86 % (место отбора – г. Лангепас ХМАО-Югры).

Исследуемые мелиоранты имели следующий состав:

1. Торф верховой нейтрализованный, фрезерованный (фракция 0 – 10). Влажность торфа от 50 до 60 %, водородный показатель водной вытяжки (рН) 5,5 – 6,0. Степень разложения верхового торфа не превышает 18 %, массовая доля влаги в нем составляет 50 – 60 %, зольность – менее 5 %. Основные неорганические соединения торфа: азот до 1,5 %, фосфор, калий, кальций (в сумме) до 0,6 % (N:P:K). Содержание гуминовых веществ в торфе составляет 7,4 – 7,9 %.

2. Диатомит по ГОСТ Р 51641-2000 или ТУ 10-05031531-378-94, или ТУ 5761-001-59266087-2005 (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики диатомита

| Наименование показателя | Значение показателя |
|---|---------------------|
| Содержание SiO ₂ | Не менее 82 % |
| Содержание Al ₂ O ₃ | Не более 7 % |
| Содержание Fe ₂ O ₃ | Не более 4 % |
| Влажность | Не более 8 % |
| Потери при прокаливании | 2,5 % - 3,0 % |

3. Сапрпель озера происхождения (ТУ 0135-001-94744244-2007), имеющий следующие характеристики (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики сапрпеля

| Наименование показателя | Значение показателя |
|---|-------------------------------------|
| 1. Внешний вид, цвет | Однородная масса темно-бурого цвета |
| 2. Массовая доля влаги, не более % | 60 |
| 3. Кислотность (рН _{сол}), не менее | 8,1 |
| 4. Массовая доля органического вещества в пересчете на сухое вещество, % не менее | 52 |
| 5. Зольность на сухое вещество, % не более | 48 |
| 6. Массовая доля макроэлементов питания растений, % на абсолютно сухое вещество, не менее | |
| - азота общего | 1,5 |
| - фосфора общего | 0,2 |
| - калия общего | 0,4 |

Эксперименты проводили согласно схеме (рис. 1) с высадкой семян озимой ржи и клевера следующим образом:

1. Закладка испытаний проводилась 4 июня 2020 г. на территории опытной базы лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН с. Фомино.

2. Для проведения испытаний был сооружен прямоугольный каркас размерами 2×1,5 м, S=3м². В каждом квадратном метре использовались различные концентрации ТДМ, и для чистоты эксперимента квадраты были изолированы перегородкой друг от друга.

3. После закладки испытаний, в период с 4 июня по 28 сентября 2020 г., проводился ежемесячный отбор проб, фото- и видеосъемка процесса прорастания высаженных растений, исследование процессов фито- и биоремедиации нефтезагрязненного грунта, динамика деструкции нефтепродуктов, анализ эффективности применения опытных образцов ТДМ и растений нефтеструктуров.

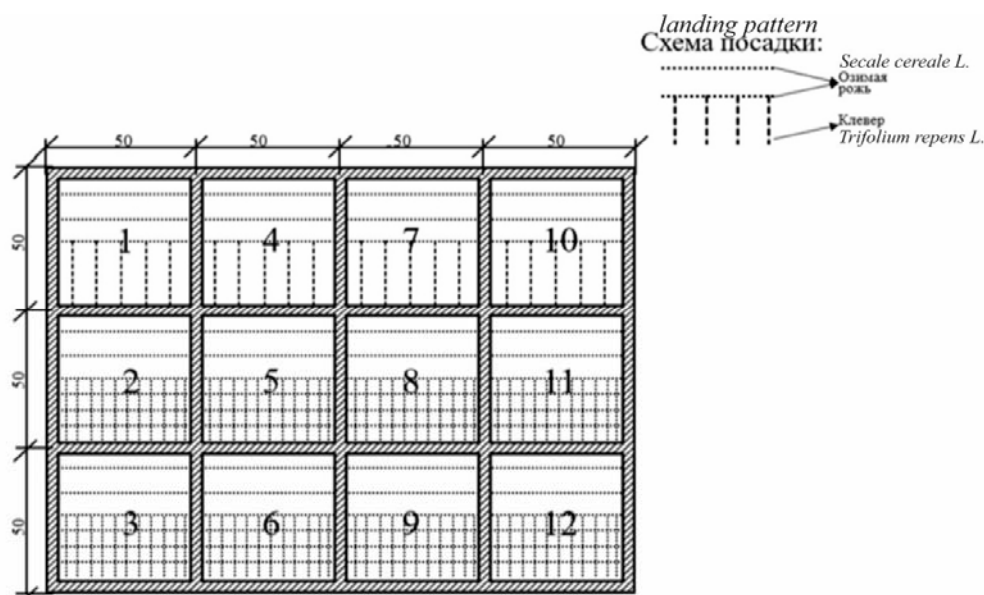


Рис. 1. Схема микрополевого опыта:

- 1 – Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 – 10 кг - фон;
- 2 – Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 – 10 кг – фон;
- 3 – Диатомит/сапропель 60/40 – 10 кг - фон;
- 4 – Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 – 6 кг + 5 кг нефтешлам;
- 5 – Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 – 6 кг + 5 кг нефтешлам;
- 6 – Диатомит/сапропель 60/40 – 6 кг + 5 кг нефтешлам;
- 7 – Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 – 14 кг + 5 кг нефтешлам;
- 8 – Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 – 14 кг + 5 кг нефтешлам;
- 9 – Диатомит/сапропель 60/40 – 14 кг + 5 кг нефтешлам;
- 10 – Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 + нефть 5 л;
- 11 – Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 + нефть 5 л;
- 12 – Диатомит/сапропель 40/60 – 10 кг + нефть 5 л.

Результаты исследования и обсуждение

На рис. 2 – 6 представлены процессы зарастания земель, загрязненных нефтью и нефтешламами, озимой рожью и клевером. На рис. 7 показана максимальная всхожесть озимой ржи и клевера.

Проанализировав рис. 2 – 6, можно констатировать, что всхожесть и развитие озимой ржи и клевера на загрязненных участках с 4 по 9 не отличаются от фоновых с 1 по 3. Чего нельзя сказать об участках с 10 по 12, где ростки растений заметно слабее соседних (см. рис. 7). Это можно объяснить чрезвычайно высокой степенью загрязнения этих участков нефтью.



Рис. 2. 04 июня 2020 г. (начало исследований)



Рис. 3. 09 июня 2020 г.



Рис. 4. 04 июля 2020 г.

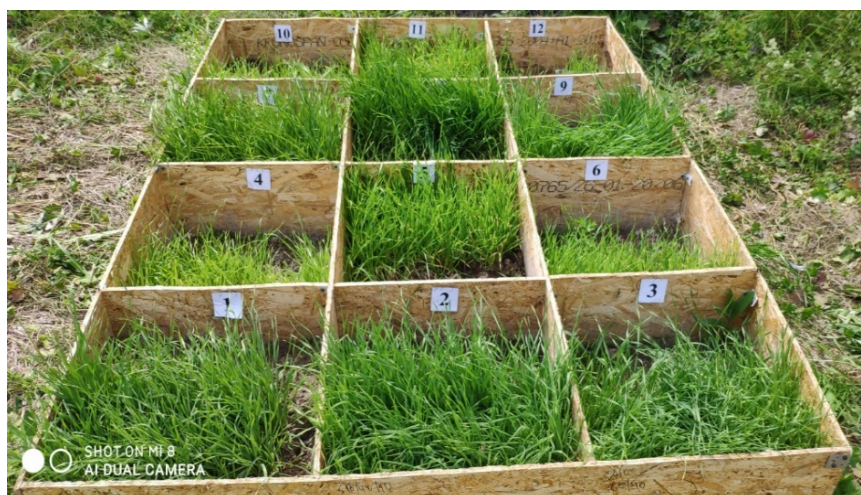


Рис. 5. 04 августа 2020 г.



Рис. 6. 28 сентября 2020 г.

Нефтепродукты в почве определяли согласно методике выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом [10].

Содержание ионов калия определяли атомно-абсорбционным методом при помощи Spectr AA-240 FS (VarianOpticalSpectr, Instrum, Australia). Минерализацию проб для определения валового содержания калия производили в концентрированной HNO_3 при помощи лабораторной микроволновой системы MARS 5 (CEM, USA). Подвижные формы калия определялись в вытяжках 0,5 М HNO_3 в соотношении 1:25 (почва:раствор).

Результаты представлены на рис. 7 – 10.

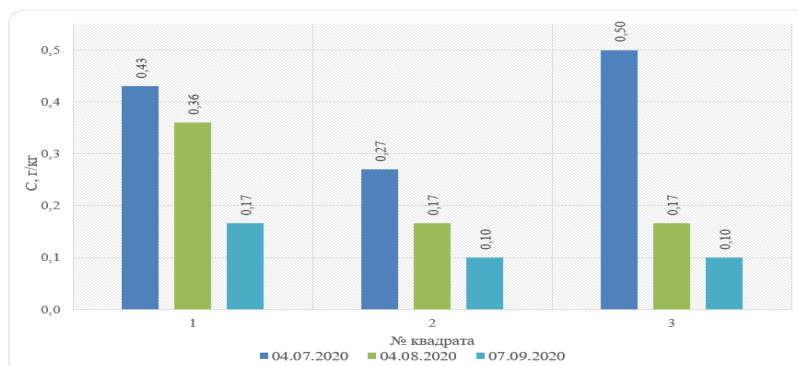


Рис. 7. График содержания фоновой концентрации нефтепродуктов и их деструкция в квадратах с 1 по 3

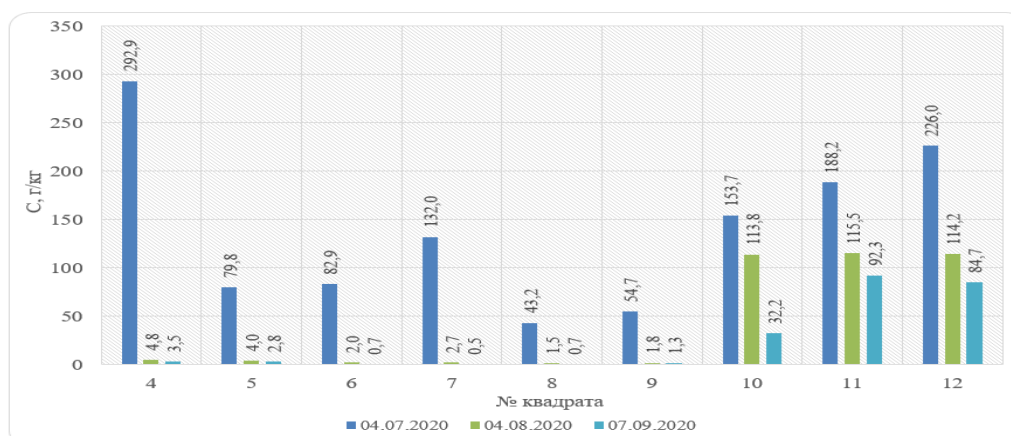


Рис. 8. График деструкции нефтепродуктов в квадратах с 4 по 12

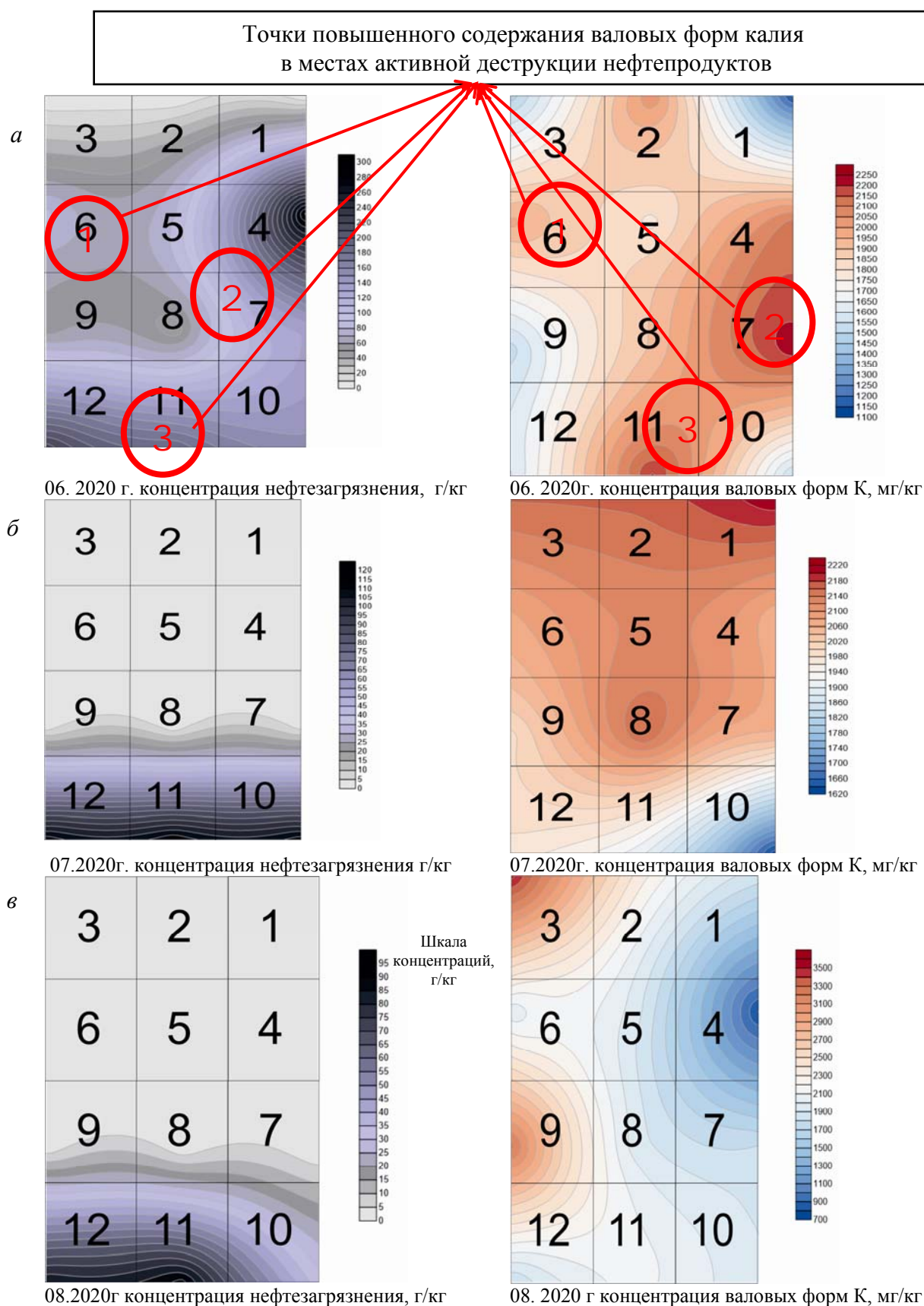


Рис. 9. Модели распределения концентраций нефтезагрязнения и валовых форм калия в процессе проведения испытаний опытных образцов ТДМ на опытной базе в с. Фомино

В моделях распределения концентраций исследуемых веществ (рис. 9 а), в точках 1 – 3, фиксируется увеличение содержания валовых форм калия в местах активной деструкции нефтепродуктов, аналогичные процессы просматриваются и в моделях, представленных на рис. 10 б, в.

Выводы

Таким образом, в результате стимуляции деструкционных процессов нефтепродуктов посредством внесения испытуемого мелиоранта происходит улучшение агрохимических характеристик исследуемого грунта.

Следовательно, можно констатировать эффективность применения опытных образцов ТДМ не только в части деструкционных процессов нефтезагрязнений, но и в части наличия почвообразовательных процессов, что подтверждается высокой всхожестью семян исследуемых сельскохозяйственных культур и достаточно успешным их развитием. Полученные результаты являются основой для разработки приемов фито- и биоремедиации нефтезагрязненных экосистем, рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами в границах промплощадки предприятий, а также исходными данными для продолжения работы по заданному направлению с целью оценки эффективности применения опытных образцов торфо-диатомитового мелиоранта как основополагающего элемента на первоначальных этапах почвообразования.

Список литературы

1. Kovaleva E.I. и др., 2017. Ecological evaluation of oil-contaminated soils (Sakhalin) using enchytraeidae. *Eurasian Soil Science*, № 3 (50), С. 350 – 358.
2. Tumanyan A. F. и др., 2017. Influence of Oil Pollution on Various Types of Soil. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, № 3 (53), С. 369 – 376.
3. Yu. S. Drugov and A. I. Rodin, 2007. *Ecological Analyses for Various Oils and Oil Products [in Russian]*, Neftekhim, Moscow, 330 pp.
4. Янкевич М.И., Хадеева В.В., Мурыгина В.П., 2015. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра. *Биосфера*, № 2, С. 199 – 208.
5. Усманов А.И., Олейникова Л.Н., Усманова В.А., 2018. Этапы рекультивации нефтезагрязненных земель. *Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Уральская горная школа – регионам»*. Екатеринбург, С. 592 – 593.
6. Руденко Е.Ю., Бахарев В.В., 2012. Биологическая рекультивация нефтезагрязненной почвы отходами пивоварения. *Вестник ВГУИТ*, № 4, С. 133 – 136.
7. Гревцев Н.В., Шампаров А.Г., Якупов Д.Р., 2015. Рекультивация нефтезагрязненных почв с применением модифицированных торфяных мелиорантов. *Известия УГГУ*, № 4 (40), С. 11 – 15.
8. Желтобрюхов В.Ф., Осипов В.М., Колодницкая Н.В., Стяжин В.Н., Карпов А.В., 2013. Рекультивация нефтезагрязненных земель с применением препаратов на основе минералов природного происхождения. *Астраханский вестник экологического образования*, №2 (24), С. 98 – 102.
9. Пат. 2718815 Российская Федерация, МПК В09С 1/08. *Способ получения композиции торфо-диатомитового мелиоранта для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами* / А.И. Усманов, А.В. Горбунов; заявитель и патентообладатель ООО "ЭкоИнноватор". – № 2019118227; заявл. 12.06.19; опубл. 14.04.20, Бюл. № 11
10. ПНД Ф 16.1.41-04. *Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом*. Введ. 2004-03-23. Москва: Министерство природных ресурсов РФ, 2004, 13 с.

References

1. Kovaleva E.I. и др., 2017. Ecological evaluation of oil-contaminated soils (Sakhalin) using enchytraeidae. *Eurasian Soil Science*, № 3 (50), P. 350 – 358.
2. Tumanyan A. F. и др., 2017. Influence of Oil Pollution on Various Types of Soil. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, № 3 (53), P. 369 – 376.
3. Yu. S. Drugov and A. I. Rodin, 2007. *Ecological Analyses for Various Oils and Oil Products [in Russian]*, Neftekhim, Moscow, 330 pp.
4. Yankevich M.I., Khadeeva V.V., Murygina V.P., 2015. *Bioremediatsiya pochv: vchera, segodnya, zavtra* [Soil bioremediation: yesterday, today, and tomorrow]. Biosfera, № 2, P. 199 – 208.
5. Usmanov A.I., Oleinikova L.N., Usmanova V.A., 2018. Etapy rekul'tivatsii neftezagryaznennykh zemel' Stages of restoration of oil-contaminated lands]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Ural'skaya gornaya shkola – regionam'*. Ekaterinburg, P. 592 – 593.
6. Rudenko E.Yu., Bakharev V.V., 2012. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya neftezagryaznennoi pochvy otkhodami pivovareniya* [Biological reclamation of oil-contaminated soil by brewery waste]. *Vestnik VGUIT*, № 4, P. 133 – 136.
7. Grevtsev N.V., Shamparov A.G., Yakupov D.R., 2015. *Rekul'tivatsiya neftezagryaznennykh pochv s primeneniem modifitsirovannykh torfyanykh meliorantov* [Recultivation of oil-contaminated soils with use of modified peat meliorants]. *Izvestiya UGGU*, № 4 (40), P. 11 – 15.
8. Zheltobryukhov V.F., Osipov V.M., Kolodnitskaya N.V., Styazhin V.N., Karpov A.V., 2013. *Rekul'tivatsiya neftezagryaznennykh zemel' s primeneniem preparatov na osnove mineralov prirodnogo proiskhozhdeniya* [Recultivation of oil-contaminated lands with the use of preparations based on minerals of natural origin]. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, №2 (24), P. 98 – 102.
9. Pat. 2718815 Rossiiskaya Federatsiya, MPK B09C 1/08. *Sposob polucheniya kompozitsii torfo-diatomitovogo melioranta dlya rekul'tivatsii zemel', zagryaznennykh nef'tyu i nefteproduktami* [Pat. 2718815 Russian Federation, IPC B09C 1/08. Method for obtaining a composition of peat-diatomite meliorant for restoration of lands contaminated with oil and petroleum products] / A.I. Usmanov, A.V. Gorbunov; zayavitel' i patento-obladatel' OOO "EkoInnovator". – № 2019118227; zayavl. 12.06.19; opubl. 14.04.20, Byul. № 11
10. PND F 16.1.41-04. *Metodika vypolneniya izmerenii massovoi kontsentratsii nefteproduktov v probakh pochv gravimetricheskim metodom* [PND F 16.1.41-04. Methodology of measuring the mass concentration of petroleum products in soil samples by gravimetric procedure. Enter. 2004-03-23]. Vved. 2004-03-23. Moscow: Ministerstvo prirodnnykh resursov RF, 2004, 13 p.