

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ В ПРОЦЕССЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОРФО- ДИАТОМИТОВОГО МЕЛИОРАНТА

А. И. Усманов^{1,2}, А. В. Горбунов²

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия;

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация: Актуальность решения экологических проблем нарушенных территорий при отработке месторождений полезных ископаемых очевидна в связи с высокой техногенной нагрузкой при производстве работ: изменением естественного ландшафта, загрязнением атмосферного воздуха, загрязнением грунтов и водоемов тяжелыми металлами, авариями техногенного характера и многим др. Рекультивация подобных территорий, как правило, осложняется отсутствием необходимых объемов рекультивационного слоя, так как её основной целью является подбор наиболее экономически эффективного способа с использованием материалов, способных восстановить нарушенные земли. В связи с этим применение новых видов мелиорантов – достаточно перспективный и результативный способ восстановления экологических характеристик районов нарушений земель. Приведены результаты прикладных исследований, касающиеся принципов формирования рекультивационного горизонта с использованием торфо-диатомитового мелиоранта (ТДМ). А посев травяной растительности на рекультивируемой поверхности, соответствующей региональному характеру мероприятий по оптимизации окружающей среды с учетом зональных особенностей, обеспечит создание дернины, прекращающей процессы дефляции и водной эрозии. Проанализированы результаты экспериментальных данных с использованием ТДМ для различного рода нарушений земельных ресурсов, будь то нефтезагрязнённый грунт либо грунт, содержащий повышенные концентрации ионов меди.

Ключевые слова: торф, сапрпель, диатомит, рекультивация, деструкция, биоремедиация, фиторемедиация, мелиорант.

Благодарность: Исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 0833–2020–0008 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа» и выполнено совместно с сотрудниками Центра коллективного пользования (ЦКП) с использованием фондов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН (No Росс RU.0001.21 ПФ59, Единый российский реестр центров коллективного пользования – <http://www.ckr-rf.ru/ckp/77384>).

Для цитирования: Усманов А. И., Горбунов А. В. Изменение свойств техногенных грунтов в процессе рекультивации с использованием торфо-диатомитового мелиоранта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 283–294. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_283.

Change in properties of manmade soil in reclamation using peat–diatomite improver

A. I. Usmanov^{1,2}, A. V. Gorbunov²

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The urgency of the environmental problems in mining-disturbed areas is obvious due to the high manmade load. The natural landscape is changed, air is polluted, soil and water bodies are contaminated with heavy metals, manmade accidents take place, etc. Recultivation of such territories is usually complicated by the lack of the required reclamation layer of soil. It is necessary to select the most cost-effective reclamation method using materials that can rehabilitate disturbed lands. In this regard, the use of new improvers is a fairly promising and effective way to recover the ecological characteristics of areas of land violations. The article presents the results of applied research into reclamation horizon formation using peat–diatomite improver (PDI). Planting of grass vegetation on reclamation ground surface, with regard to regional environmental optimization measures and zonal features, can ensure creation of sod to prevent deflation and water erosion. The results of the experimental data on the use of PDI on variously violated lands, either contaminated by oil or containing increased concentrations of copper ions, are analyzed.

Key words: peat, sapropel, diatomite, reclamation, destruction, bioremediation, phytoremediation, improver.

Acknowledgements: The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education in accordance with the state contract with the Ural State Mining University, No. 0833-2020-0008 Development and Environmental and Economic Substantiation of Reclamation Technology for Mining and Metallurgy-Disturbed Land Using New-Type Improvers and Fertilizers. The studies are performed with the help of the staff and scientific equipment of the Center for Shared Use at the Federal Scientific Center of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, No. Ross RU.0001.21 PF59 in Unified Russian Register of Centers for Shared Use: <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>.

For citation: Usmanov A. I., Gorbunov A. V. Change in properties of manmade soil in reclamation using peat–diatomite improver. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):283–294. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_283.

Введение

В Российской Федерации добывается более 60 видов полезных ископаемых [1]. Одной из основных проблем, сопутствующих их добыче, является изъятие из хозяйственного оборота земельных ресурсов большой площади (табл. 1). Добыча, переработка и транспортировка полезных ископаемых неизбежно приводит к нарушению почвенного покрова, гидрологического режима местности, образованию техногенного рельефа

и другим качественным изменениям состояния земель [2].

В 2019 г. площадь нарушенных земель составила 1076,9 тыс. га. Площадь рекультивированных земель составляет 102,225 тыс. га [2]. Основная часть нарушенных земель приходится на земли промышленного и иного назначения (437,4 тыс. га).

Загрязнение земельных ресурсов нефтепродуктами и тяжёлыми металлами относится к наиболее значительным видам техногенного воздействия

Таблица 1

Площадь нарушенных, оработанных и рекультивированных земель при разработке месторождений полезных ископаемых (включая общераспространенные полезные ископаемые), по годам, га [2–3]

Mining-disturbed, abandoned and reclaimed land area (including prevailing mineral mining) per years, in hectares [2, 3]

Год	Нарушено земель, га		Рекультивировало земель
	всего	из них оработано земель	
2013	74206	41368	35505
2014	79475	48545	33977
2015	77676	47894	39906
2016	104968	73023	45494
2017	178266	125598	51004
2018	119481	69305	59397

при обработке месторождений полезных ископаемых, и проблема минимизации воздействия, рекультивации нарушенных территорий является одной из наиболее важных в области экологической безопасности [4–5].

Существуют различные химические и физические механизмы обработки загрязненных почв, включающие в себя выемку грунта, сепарацию, извлечение, электрокинезис, промывку, окисление и восстановление, но предпочтение отдается экономически эффективным способам рекультивации загрязненной почвы. Для достижения данной цели в природе есть эффективная система, которая может воздействовать на различные типы загрязнителей через жизнедеятельность микроорганизмов, способных нейтрализовать загрязнители в почве. Для большей концентрации этих микроорганизмов на месте загрязнения могут быть использованы мелиоранты на основе торфа, активизирующие аборигенную, разлагающую углеводороды нефти микрофлору [6–10]. Кроме того, применение мелиорантов позволит запустить процесс иммобилизации ряда тяжелых металлов, а именно перевести их в недоступные для растений формы [11–14].

Материалы и методы исследований

К настоящему времени накоплен значительный опыт проведения научных исследований по применению природных сорбентов (торфа, диатомитов, цеолитов и др.) в многочисленных технологиях очистки сточных вод, технологиях ионообмена, сорбции загрязняющих веществ и пр.

В природоохранных технологиях торф и другие природные материалы показывают высокую эффективность, к тому же стоимость продукции на их основе имеет конкурентные преимущества перед другими материалами. Это объясняется широкой распространенностью месторождений местных полезных ископаемых и достаточно легкой доступностью извлечения сырья. Так же высокая сорбционная способность торфа важна как с точки зрения природного барьера на пути миграции вредных и опасных соединений, так и возможности получения промышленных сорбентов [15].

Настоящая работа нацелена на оценку эффективности применения торфо-диатомитового мелиоранта при разработке мероприятий по рекультивации нарушенных земель. В связи с вышеизложенным были проведены натурные эксперименты по оценке эффективно-

сти применения торфо-диатомитового мелиоранта (ТДМ).

Для разработки мелиоранта использовали верховой фрезерный торф (фракция 0–10). Влажность торфа от 50 до 60 %, водородный показатель водной вытяжки (рН) 5,5–7,5. Степень разложения верхового торфа не превышает 25 %, 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 %.

В диатомите согласно ГОСТ Р 51641–2000 или ТУ 10-05031531-378–94, или

ТУ 5761-001-59266087–2005 содержание SiO_2 — не менее 82 %, Al_2O_3 — не более 7 %, Fe_2O_3 — не более 4 %, влажность — не более 8 %.

Сапрпель (ТУ 0135-001-94744244-2007). Массовая доля влаги — не более 60 %, кислотность (рН_{сол}) — не менее 8, массовая доля органического вещества в пересчете на сухое вещество — не менее 52 %, зольность на сухое вещество — не более 48 %, массовая доля макроэлементов питания растений, % на абсолютно сухое вещество, не менее: азота общего — 1,5; фосфора общего — 0,2; калия общего — 0,4.

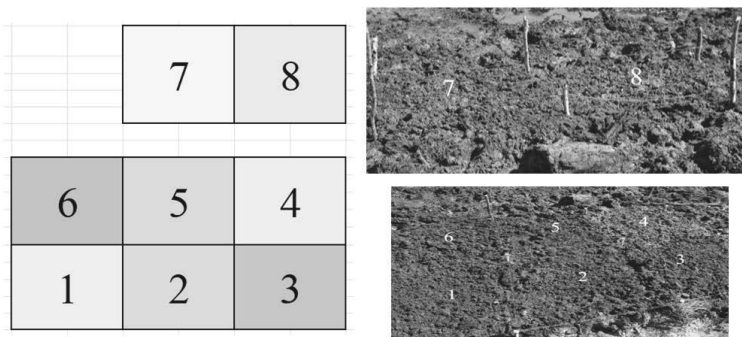


Рис. 1. Схема проведения натурного исследования

Fig. 1. Flowchart of full-scale research

Таблица 2

Различные концентрации и пропорции ТДМ, а также торфа и диатомита вносимые на участок площадью 1 м²

Table 2. Different concentrations and proportions of PDI, peat and diatomite applied to a site with an area of 1 m²

№ уч-ка	Сорбент	Масса внесения, кг
1	ТДМ 1/3 (гранулы)	10
2	ТДМ 1/3 (гранулы)	20
3	ТДМ 1/3 (россыпь)	30
4	Диатомит, фракция 1–2 мм	15
5	ТДМ 1/3 (гранулы)*	20
6	ТДМ 1/1 (гранулы)*	10
7	Торф*	10
8	Торф*	20
ИТОГО		135

* С добавлением гумата калия.



Рис. 2. Процесс внесения ТДМ в нефтезагрязненный участок
 Fig. 2. Application of PDI to an oil-contaminated site



Нефтепродукты в почве определяли согласно методике выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом, ПНД Ф 16.1.41 – 04.

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

На первом этапе для успешного проведения исследования процесса рекультивации с оценкой эффективности использования ТДМ в природных условиях с различными пропорциями и с внесением озимой ржи (650 семян на 1 м^2) был взят нефтезагрязненный участок площадью 8 м^2 (рис. 1, табл. 2). Начало проведения эксперимента – месяц июль.

Вносили различные концентрации равномерно по поверхности загрязненного участка (рис. 2);

Произвели посев семян озимой ржи в количестве 650 семян/м^2 согласно нормам для Западной Сибири. Далее грунт периодически взрыхляли для наглядности процесса положительного влияния

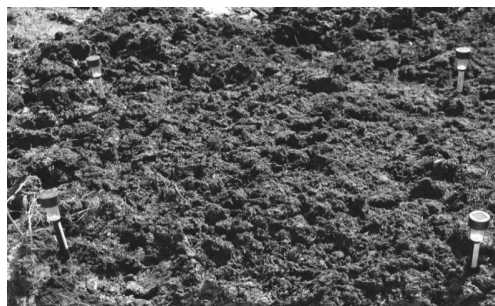


Рис. 3. Взрыхленная почва с ТДМ
 Fig. 3. Ripping of soil with PDI

ТДМ и начала формирования травяного покрова.

Результаты наблюдений

После вспашки территории, внесения рекультивационных материалов и посева семян проводились регулярные наблюдения за опытными участками (рис. 4–7).

В процессе наблюдения за ростом растений проводилось их регулярное измерение, а также отбирались пробы почвы для определения концентрации нефтепродуктов. Результаты измерений представлены на рис. 8 и 9 [16].

Результаты процесса деструкции показали, что уже на третий день после внесения рекультивационных материалов и посева семян происходит активный рост озимой ржи от 10 до 30 мм в сутки.

В целях оценки универсальности ТДМ был заложен микрополевой



Рис. 4. Состояние участка 03–05 июля

Fig. 4. Site condition on July 3–5, 2019



Рис. 5. Состояние участка 07–09 июля

Fig. 5. Site condition on July 7–9, 2019



Рис. 6. Состояние участка 15–18 июля

Fig. 6. Site condition on July 15–18, 2019



Рис. 7. Состояние участка 20 июля 2019 г.

Fig. 7. Site condition on July 20, 2019

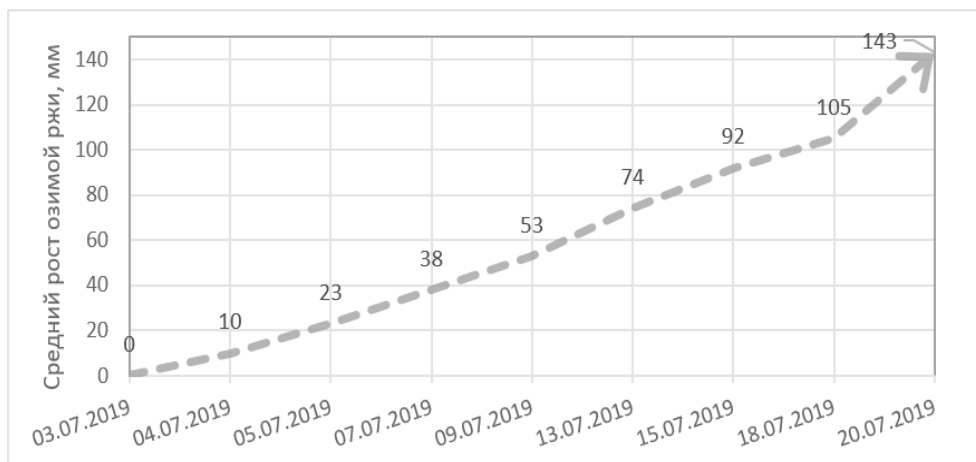


Рис. 8. Средний рост озимой ржи с течением времени
 Fig. 8. Average fall rye growth with time

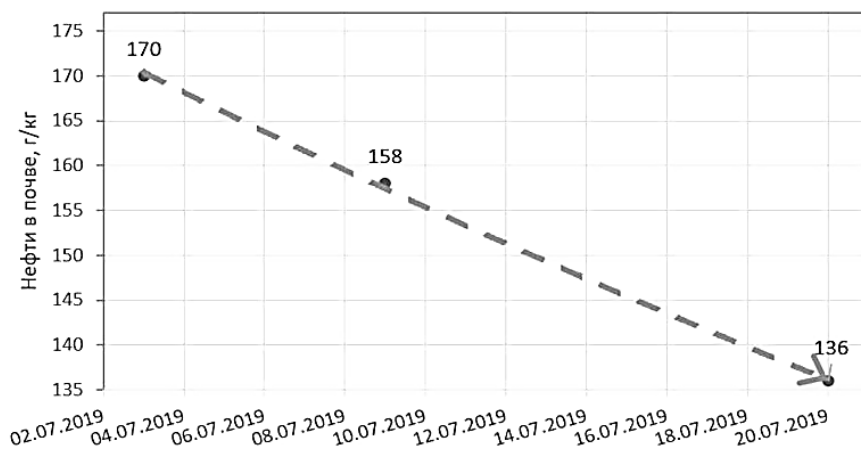


Рис. 9. Процесс деструкции углеводородов нефти в почве, г/кг
 Fig. 9. Destruction of mineral oil hydrocarbons in soil, g/kg

опыт продолжительностью 92 календарных дня, позволяющий проанализировать эффективность применения торфо-диатомитового мелиоранта при рекультивации земельных ресурсов, загрязнённых ионами меди. В экспериментальные модули были помещены субстраты, состоящие из техногенного грунта, торфо-диатомитового мелиоранта и сапропеля, а также высажены семена ржи посевной (*Secale cereale* L.) и клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) для понимания возможности исполь-

зования при проведении мероприятий по экологической реабилитации экосистем, сельскохозяйственных культур.

Микрополевым опытом был заложен на территории опытной базы лаборатории экологии горного производства Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук, с. Фомино (рис. 10).

В первый месяц зафиксирована гибель большей части ростков клевера, а рожь показала достаточно успешный прирост биомассы (рис. 11).

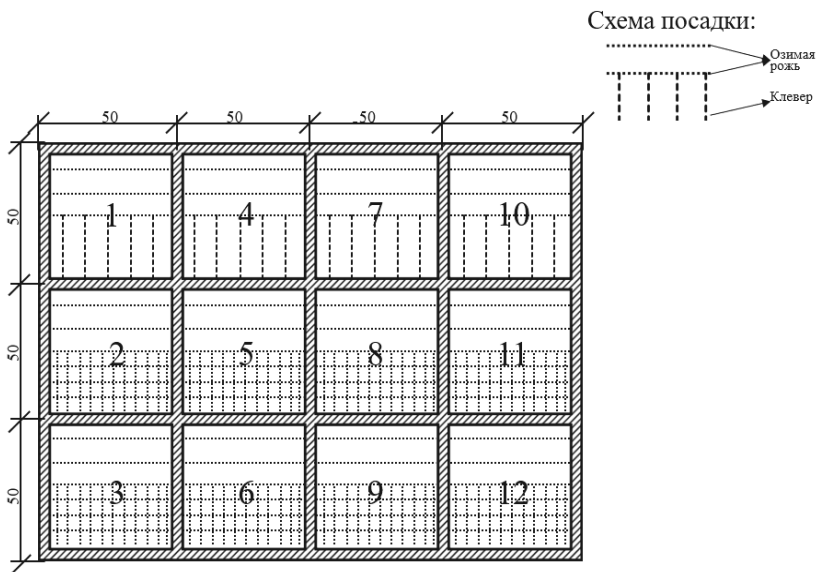


Рис. 10. Схема микрополевого опыта: 1. Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 – фон; 2. Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 – 10 кг – фон; 3. Диатомит/сапропель 60/40 – 10 кг – фон; 4. Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 – 6 кг + 5 кг техногенный грунт; 5. Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 – 6 кг + 5 кг техногенный грунт; 6. Диатомит/сапропель 60/40 – 6 кг + 5 кг техногенный грунт; 7. Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 – 14 кг + 5 кг техногенный грунт; 8. Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 – 14 кг + 5 кг техногенный грунт; 9. Диатомит/сапропель 60/40 – 14 кг + 5 кг техногенный грунт; 10. Торф/диатомит/сапропель 40/30/30 + техногенный грунт; 11. Торф/диатомит/сапропель 50/40/10 + техногенный грунт; 12. Диатомит/ сапропель 40/60 – 10 кг техногенный грунт

Fig. 10. Field micro-trial layout. Legend: 1. peat/diatomite/sapropel 40/30/30 – background; 2. peat/diatomite/sapropel 50/40/10 – background; 3. diatomite/sapropel 60/40 – background; 4. peat/diatomite/sapropel 40/30/30 – 6 kg+5 kg of manmade soil; 5. peat/diatomite/sapropel 50/40/10 – 6 kg+5 kg of manmade soil; 6. diatomite/sapropel 60/40 – 6 kg+5 kg of manmade soil; 7. peat/diatomite/sapropel 40/30/30 – 14 kg+5 kg of manmade soil; 8. peat/diatomite/sapropel 50/40/10 – 14 kg+5 kg of manmade soil; 9. diatomite/sapropel 60/40 – 14 kg+5 kg of manmade soil; 10. peat/diatomite/sapropel 40/30/30 + manmade soil; 11. peat/diatomite/sapropel 50/40/10 + manmade soil; 12. diatomite/sapropel 40/60 – 10 kg manmade soil

Для определения степени трансформации, оценки перехода загрязняющих веществ в окружающую среду и выявления возможностей локализации потенциальных загрязнителей были определены валовое содержание и концентрации подвижных форм меди в грунте (рис. 12).

Содержание валовой формы меди во всех исследуемых пробах превышает содержание подвижной формы. К завершению эксперимента во всех пробах, кроме модуля № 9, наблю-

дается снижение концентрации как валовой формы меди, так и подвижной.

Выводы

Таким образом, по результатам анализа полученных экспериментальных данных отчетливо просматривается универсальность ТДМ для различного рода нарушений земельных ресурсов, будь то нефтезагрязнённый грунт либо грунт, содержащий повышенные концентрации ионов меди.

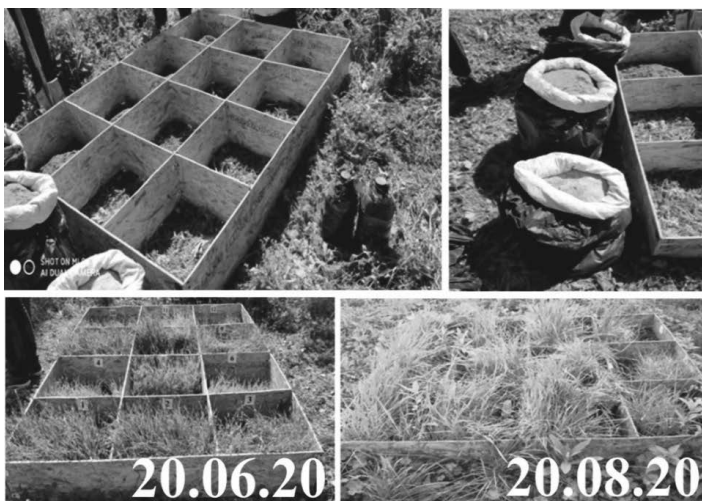


Рис. 11. Фрагмент экспериментальной площадки
 Fig. 11. Fragment of test site

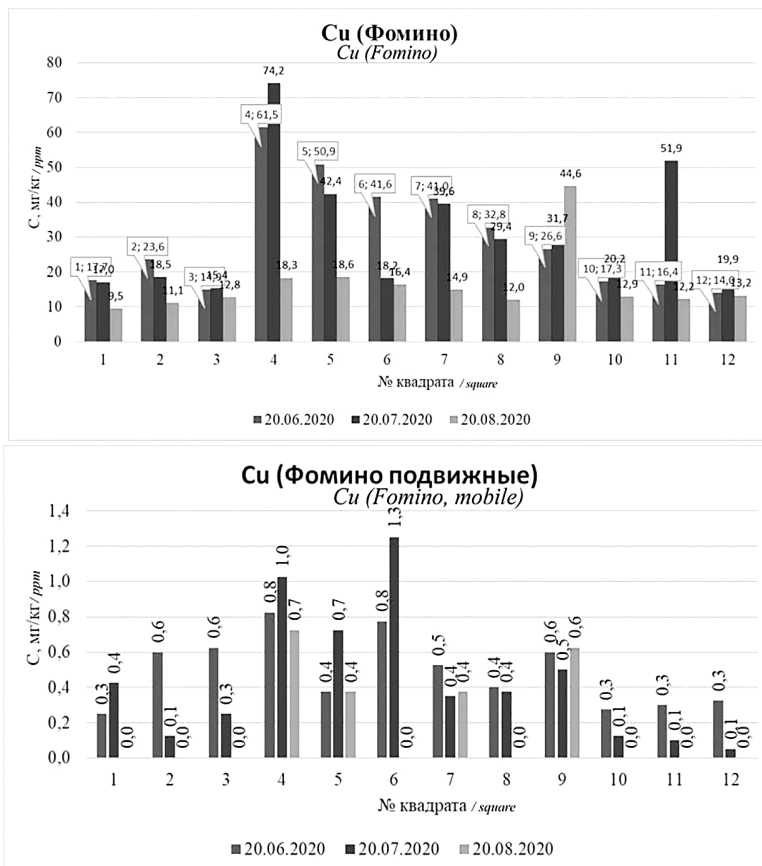


Рис. 12. Содержание валовой и подвижной форм меди в исследуемых пробах
 Fig. 12. Gross and mobile copper contents in test samples

Внесение ТДМ в грунт, загрязненный нефтью и нефтепродуктами, активизирует деятельность местных углеводородокисляющих микроорганизмов, запуская процессы самовосстановления. Опыты показали, что на участках, где были внесены ТДМ, возобновляются почвообразовательные процессы, а следовательно, увеличивается самоочищающаяся способность загрязненных территорий.

Кроме того, наглядно просматривается тенденция процесса иммобилизации меди на участках: 1–3, 6, 8, 10–12.

Следовательно, экспериментальные исследования показали возможность применения мелиоранта нового поколения ТДМ как при наличии существенного нефтезагрязнения, так и при загрязнении почв рядом тяжелых металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2020. – 1000 с.
3. Охрана окружающей среды в России. 2018: Стат. сб./Росстат. – 0–92 М., 2018. – 125 с.
4. Гамм А. А., Гамм Т. А., Шабанова С. В., Касимов Р. Н., Утяганова З. З., Сагитов Р. Ф., Мушинский А. А. Оценка воздействия на окружающую среду на Баклановском месторождении нефти в Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, № 5 (61), 2016, С.137–140.
5. Ковалева Е. И., Яковлев А. С., Пашкевич Е. Б. Нормирование нефтепродуктов в почвах в условиях вегетационного опыта (на примере зональных и интразональных почв острова Сахалин) // Проблемы агрохимии и экологии, 2019, № 3, С.60–67.
6. Антонинова Н.Ю., Усманов А. И., Собенин А. В. Анализ процесса фиторемедиации нефтезагрязненного грунта с использованием торфо-диатомитового мелиоранта // Проблемы недропользования. 2020. №4 (27).
7. ULAH A., et al. Phytoremediation of heavy metals by plant growth-stimulating bacteria (PGP): review // ecological and experimental botany 117: 28–40, 2015.
8. D. Adetitun, V. Akinmayowa, O. Atolani, A. Olayemi, biodegradation of jet fuel by three gram-negative bacilli isolated from kerosene-contaminated soil // pollution, vol. 4, no. 2, Pp. 291–303, 2018
9. F. Akande, S. Ogunkunle, S. Ajayi, pollution from petroleum products: consequences for seed soil banks around an oil storage facility in Ibadan in southwestern Nigeria // pollution, vol. 4, no. 3, pp. 515–525, 2018.
10. Усманов А. И., Олейникова Л. Н., Усманова В. А. Этапы рекультивации нефтезагрязненных земель // Сборник докладов Международной научно-практической конференции Уральская горная школа – регионам. 2018. С. 592–593.
11. Clemens, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* 88, 1707–1719. (Накопление токсичных металлов, реакции на воздействие и механизмы толерантность у растений).
12. Bradl, H. B., 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *J. Colloid Interface Sci.* 277, 1–18. (Адсорбция ионов тяжелых металлов на почвах и почвенных составляющих.)
13. Rosenfeld, C. E., Chaney, R. L., Tappero, R. V., Martínez, C. E., 2017. Microscale investigations of soil heterogeneity: impacts on zinc retention and uptake in zinc-contaminated soils. *J. Environ. Qual.* 46, 373–383. (Микромасштабные исследования неоднородности почвы: влияние на удержание и поглощение цинка в загрязненных цинком почвах)

14. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Martinez C. E. Soil geochemical factors regulate Cd accumulation by metal hyperaccumulating *Nocca caerulescens* (J. Presl & C. Presl) FK Mey in field-contaminated soils // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Т. 616. – С. 279–287.

15. Орлов А. С., Пономарева Т. И., Селянина С. Б., Труфанова М. В., Парфенова Л. Н. Структура и сорбционные свойства верхового торфа приарктических территорий // *Успехи современного естествознания*. – 2017. №1. – С. 18–22.

16. 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. **ПАТ**

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2018 godu»* [State report “On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018”]. Moscow: Minprirody Rossii; NPP «Kadastr», 2019. 844 p. [In Russ]

2. *O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2019 godu* [On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2019]. Gosudarstvennyj doklad. Moscow: Minprirody Rossii; MGU imeni M. V. Lomonosova, 2020. 1000 p. [In Russ]

3. *Ohrana okruzhayushchej sredy v Rossii* [Environmental protection in Russia]. 2018: Stat. sb. Rosstat. 0–92. Moscow, 2018. 125 p. [In Russ]

4. Gamm A. A., Gamm T. A., Shabanova S. V., Kasimov R. N., Utyaganova Z. Z., Sagitov R. F., Mushinskij A. A. Environmental impact assessment at the Baklanovskoye oil field in the Orenburg region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 5 (61), 2016, pp. 137–140. [In Russ]

5. Kovaleva E. I., Yakovlev A. S., Pashkevich E. B. Rationing of petroleum products in soils in a pot experiment (for example, zonal and intrazonal soil of the island of Sakhalin). *Problemy agrohimii i ekologii*, 2019, no. 3, pp. 60–67. [In Russ]

6. Antoninova N.Yu, Usmanov A. I., Sobenin A. V. Analysis of the process of phytoremediation of oil-contaminated soil using peat-diatomite meliorant. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2020. no. 4(27). [In Russ]

7. ULAH A., et al. Phytoremediation of heavy metals by plant growth-stimulating bacteria (PGP): review. *ecological and experimental botany* 117: 28–40, 2015.

8. D. Adetitun, V. Akinmayowa, O. Atolani, A. Olayemi, biodegradation of jet fuel by three gram-negative bacilli isolated from kerosene-contaminated soil. *pollution*, vol. 4, no. 2, pp. 291–303, 2018.

9. F. Akande, S. Ogunkunle, S. Ajayi, pollution from petroleum products: consequences for seed soil banks around an oil storage facility in Ibadan in southwestern Nigeria. *pollution*, vol. 4, no. 3, pp. 515–525, 2018.

10. Usmanov A. I., Olejnikova L. N., Usmanova V. A. *Etapy rekul'tivacii neftezagryaznennyh zemel'* [Stages of rehabilitation of contaminated lands]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Ural'skaya gornaya shkola regionam*. 2018. pp. 592–593. [In Russ]

11. Clemens, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* 88, 1707–1719. (Accumulation of toxic metals, reactions to exposure, and mechanisms of tolerance in plants).

12. Bradl, H. B., 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *J. Colloid Interface Sci.* 277, 1–18. (Adsorption of heavy metal ions on soils and soil constituents).

13. Rosenfeld, C. E., Chaney, R. L., Tappero, R. V., Martínez, C. E., 2017. Microscale investigations of soil heterogeneity: impacts on zinc retention and uptake in zinc-contaminated soils. *J. Environ. Qual.* 46, 373–383. (Micro-scale studies of soil heterogeneity: effects on zinc retention and uptake in zinc-contaminated soils).

14. Rosenfeld C. E., Chaney R. L., Martinez, C. E. Soil geochemical factors regulate Cd accumulation by metal hyperaccumulating *Noccaea caerulea* (J. Presl & C. Presl) FK Mey in field-contaminated soils. *Science of the Total Environment.* 2018. T. 616. pp. 279–287. .

15. Orlov A. S., Ponomareva T. I., Villager S. B., Trufanova M. V., Parfenov, L. N. The structure and sorption properties of peat subarctic territories. *Successes of modern science.* 2017. no. 1. pp. 18–22.

16. Pat. 2718815 Russian Federation, IPC B09C 1/08. A method for obtaining a composition of peat-diatomite meliorant for recultivation of lands contaminated with oil and petroleum products. A. I. Usmanov, A. V. Gorbunov; applicant and patent holder of LLC “EkoInnovator”. no. 2019118227; application no. 12.06.19; Publ. 14.04.20, Byul. no. 11.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Usmanov Albert Ismagilovich^{1,2} – младший научный сотрудник лаборатории рекультивации нарушенных земель и техногенных объектов, младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства;

*Gorbunov Aleksandr Viktorovich*² – канд. техн. наук, доцент кафедры Природообустройства и водопользования;

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия;

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Usmanov A. I.^{1,2}, junior researcher, laboratories for reclamation of disturbed lands and man-made objects, junior researcher Laboratory of Ecology of mining production, albert3179@mail.ru;

*Gorbunov A. V.*², Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Nature Management and Water Use;

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 27.01.2021; получена после рецензии 15.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 27.01.2021; received after the review 15.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

