

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-2-160-171

УДК 504.53

Научная статья

Использование активированного торфа для рекультивации грунтов, загрязненных нефтепродуктами

Е.А. Адельфинская^{1*}, В.А. Мязин²

¹Национальный исследовательский университет ИТМО,
Российская Федерация, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр-кт, д. 49, лит. А

²Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение
Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН»,
Российская Федерация, 184209, Апатиты, мкр. Академгородок, 14А

*adelfinskayakate19@gmail.com

Аннотация. Наиболее серьезной экологической проблемой Крайнего Севера РФ является загрязнение территории нефтью и нефтепродуктами. Экосистемы этого региона являются крайне уязвимыми, их восстановление после оказанного антропогенного воздействия, связанного с разливом горюче-смазочных материалов, может длиться десятилетиями. Это обуславливает необходимость разработки эффективных методов очистки и восстановления нефтезагрязненных земель. В результате проведенного лабораторного исследования была показана возможность биорекультивации грунта, загрязненного нефтепродуктами, с использованием активированного торфа в качестве сорбента и органического удобрения. Через две недели после добавления активированного торфа содержание нефтяных углеводородов в грунте снизилось на 22–47 % за счет разбавления загрязнения и улучшения воздушного и питательного режима. После проведения рекультивации всхожесть семян тест-культуры увеличилась в 1,6–3,7 раза. Также установлено оптимальное количество торфа, необходимое для внесения в загрязненный песчаный грунт, в зависимости от степени его загрязнения. На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по рекультивации загрязненного участка площадью 0,07 га, расположенного на северо-западе Мурманской области, с использованием торфа и минеральных удобрений.

Ключевые слова: рекультивация, нефтяные углеводороды, торф, фитотоксичность, песчаный грунт, Крайний Север

Введение

Деятельность человека и оказываемое им антропогенное воздействие являются наиболее опасными и масштабными факторами, влияющими на окружающую среду. При этом устойчивость экосистем и их способность к восстановлению в условиях техногенного воздействия различна и зачастую определяется природно-климатическими факторами. С этой точки зрения наиболее

уязвимыми являются территории Арктической зоны, которые отличаются низкой способностью к самоочищению. Одним из таких регионов, испытывающих большую техногенную нагрузку, – Мурманская область.

Наиболее серьезной экологической проблемой Северных регионов России является загрязнение территории нефтью и нефтепродуктами, что обуславливает необходимость разработки эффективных методов очистки и восстановления нефтезагрязненных земель. Значительную долю в загрязнение почвы нефтяными углеводородами (НУ) на территории Мурманской области вносят хранилища нефтепродуктов, автотранспортные предприятия, действующие и расформированные объекты Министерства обороны РФ. Загрязнение происходит в результате нарушения целостности емкостей для хранения нефтепродуктов и при осуществлении технологических операций по их перегрузке. При этом образуются различные по площади локальные разливы нефтепродуктов.

Попадание нефтепродуктов на поверхность почвы приводит к деградации органогенного горизонта, невозможности образования гумуса из-за накопления токсичных соединений и угнетения микробного сообщества. Нарушение обменных процессов обуславливает изменение физико-химических параметров (снижение содержания подвижных форм биогенных элементов, увеличение соотношения между углеродом и азотом, изменение микроэлементного состава). Исходные окислительные условия в почвах меняются на окислительно-восстановительные и восстановительные.

Также актуальной остается проблема ликвидации накопленного экологического ущерба на участках, загрязненных горюче-смазочными материалами (ГСМ) в результате хозяйственной деятельности, где не проводилась очистка и восстановление нарушенных территорий.

Решением данной проблемы может стать технология биоремедиации загрязненных почв и грунтов, основанная на использовании органических сорбентов для активизации процессов биодеструкции НУ. Они выполняют функцию структураторов почв, а также способны снизить пороговые значения токсичности для начала этапа фиторекультивации [1; 2].

В качестве органических сорбентов могут служить торф, плодородные почвы, биокомпосты, сорбенты растительного происхождения, органические отходы [3; 4]. В условиях Крайнего Севера, где отмечается нехватка органических удобрений и отсутствуют условия для подготовки компостов, показана возможность использования торфа [5].

Целесообразность использования торфа подтверждается национальным стандартом Российской Федерации, в котором прописано, что торф может применяться в качестве потенциально плодородной среды или сорбента [6]. Торф при биорекультивации загрязненных земель действует как компонент, улучшающий физические свойства почвы [7; 8]. Происходит снижение фитотоксичности корнеобитаемого слоя за счет разбавления загрязнения и интенсификация разложения НУ в результате улучшения воздушного и питательного режимов очищаемых почв и грунтов [9].

Применение активированного торфа необходимо в случае, если почвы слабогумусированны или представлены минеральным грунтом (песок или глина), а уровень загрязнения достаточно высок [10; 11].

Целью настоящей работы стало исследование в лабораторных условиях эффективности очистки грунтов, загрязненных горюче-смазочными материалами, с применением активированного торфа, а также разработка рекомендаций по рекультивации загрязненного участка, расположенного на территории бывшей воинской части.

Материалы и методы

Грунт. В лабораторном эксперименте использовали образцы загрязненного грунта, взятого на территории Печенгского района Мурманской области (69°16' N, 29°28' E) (рис. 1).



Рис. 1. Место отбора образцов загрязненного грунта
[**Figure 1.** Place of contaminated soil sampling]

На обследуемом участке находилось одно из подразделений Министерства обороны РФ, расформированное около 20 лет назад. Площадь загрязненного участка, где ранее располагался склад ГСМ, составляет около 0,07 га, поверхность практически лишена органического горизонта и представлена песчаной и супесчаной фракцией с большим количеством каменных включений, плотность грунта – 1300 кг/м^3 (рис. 2).



Рис. 2. Загрязненный участок на месте бывшего склада ГСМ
[**Figure 2.** Contaminated plot of land at the place of the former fuel and lubricants warehouse]

На загрязненном участке почвенным пробоотборником было взято 11 проб грунта из поверхностного слоя 0–10 см, а также пробы с глубин 0–5, 5–10 и 10–20 см. Образцы грунта доставляли в лабораторию, где высушивали до воздушно-сухого состояния.

Торф. В качестве сорбента-структуратора использовали торф верховой с низкой степенью разложения, нейтрализованный известью. Торф измельчали до размера частиц не более 10 мм, после чего активировали путем добавления комплексного минерального удобрения – нитроаммофоски ($\text{N} = 16 \%$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 16 \%$, $\text{K}_2\text{O} = 16 \%$) из расчета 500 мг д.в./кг. Активированный торф оставляли на месяц для повышения биодеструктивных свойств аборигенных микроорганизмов.

Схема эксперимента. Образцы загрязненного грунта просеивали через сито с диаметром ячейки 2 мм, тщательно перемешивали и увлажняли до 60 % от полной влагоемкости. В образцы добавляли активированный торф в соотношении грунт/торф 4:1 (при содержании нефтепродуктов в грунте менее 20 000 мг/кг) и 2:1 (при содержании нефтепродуктов более 20 000 мг/кг). Целесообразность внесения торфа в данных пропорциях была подтверждена предыдущими исследованиями [11]. Подготовленный грунт выкладывали в пластиковые емкости в равном весовом количестве. Емкости с грунтом находились при комнатной температуре (18–20 °С), полив и перемешивание

осуществляли два раза в неделю. Продолжительность лабораторного эксперимента – две недели. Повторность опыта – трехкратная.

Определение содержания нефтепродуктов в грунте. Количественный анализ содержания НУ в образцах проводили в соответствии с методикой выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов методом ИК-спектрометрии [12].

Оценка фитотоксичности. Уровень фитотоксичности грунта оценивали по показателю всхожести тест-культуры (щавель). На ровную поверхность исследуемого грунта раскладывали по 30 семян испытываемого растения. Фитотоксичность грунта рассчитывали по показателю всхожести семян, выращенных на исследуемом грунте, по отношению к контролю.

Определение активности дегидрогеназы. Определение активности почвенной дегидрогеназы проводили колориметрическим методом по интенсивности окраски раствора после восстановления трифенилтетразолия хлористого в красные соединения трифенилформазана [13].

Содержание НУ в грунте, его токсичность и активность дегидрогеназы оценивали до и после проведения рекультивации.

Статистическая обработка. Математическая обработка результатов осуществлялась с применением стандартных пакетов программ для статистических вычислений (Microsoft Office Excel 2007). Достоверность различий между выборками (t) оценивали с помощью критерия Стьюдента, коэффициент корреляции (r) вычисляли методом квадратов (метод Пирсона) для уровня значимости 0,05.

Результаты и обсуждение

Проведение лабораторного эксперимента. Заключение о качестве очистки и восстановления загрязненного грунта делалось на основе результатов анализа количественного содержания НУ в образцах до и после очищения и по результатам тестов на фитотоксичность.

В случае отсутствия установленного норматива остаточного содержания нефтепродуктов степень загрязнения оценивают по превышению содержания НУ над фоновым значением в конкретном районе. Содержание НУ в органоминеральном горизонте почв на фоновых участках в районе проведения исследования составляет 224 ± 39 мг/кг.

Анализ образцов показал, что содержание НУ в загрязненном грунте составляет от 2864 ± 358 до $30\,847 \pm 3856$ мг/кг, что в 13–137 раз превышает фоновое содержание НУ. Учитывая, что с момента загрязнения участка прошло более 20 лет, в грунте остались преимущественно высокомолекулярные трудно разлагаемые углеводороды и продукты их трансформации.

Исследование вертикального распределения загрязнения показало высокое содержание НУ по всему профилю (более 20 см от поверхности), что указывает на прекращения трансформации углеводородов и их накопление. О прекращении биологического окисления НУ в грунте свидетельствует и уровень активности почвенной дегидрогеназы – фермента, участвующего в процессах деструкции углеводородов. В загрязненном грунте исследуемой площадки активность дегидрогеназы составляла $0,06 \pm 0,01$ мг ТФФ/10 г,

что по шкале сравнительной оценки биологической активности почв оценивается как очень слабая [14].

Через две недели после внесения активированного торфа в загрязненный грунт содержание НУ в опытных образцах снизилось на 22–47 %. При данной величине выборки отмечено достоверное снижение количества углеводородов в образцах с наибольшим (8 и 11) и наименьшим (7 и 10) исходным содержанием НУ ($t = 2,93-3,56$ при $p = 0,05$, $df = 4$) (рис. 3).

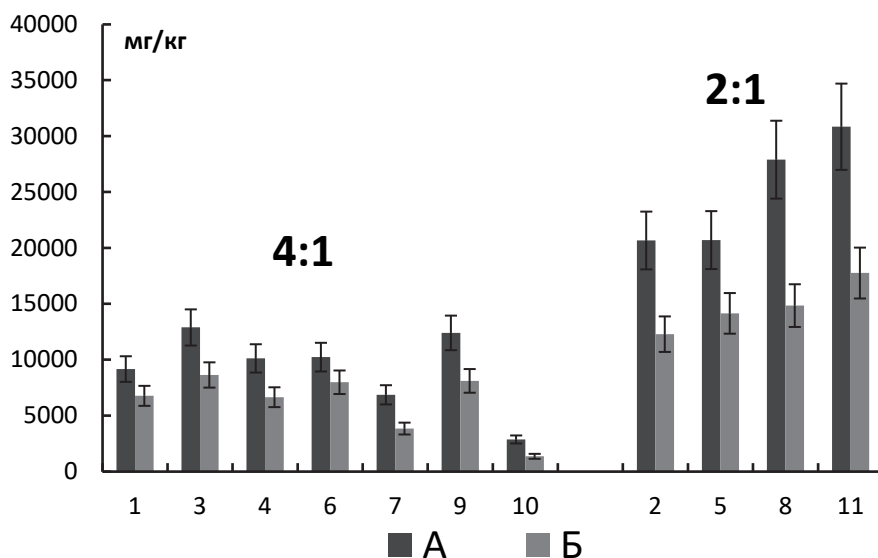


Рис. 3. Содержание НУ в образцах загрязненного грунта до (А) и после (Б) рекультивации при соотношении грунт/торф 4:1 и 2:1

Figure 3. Petroleum hydrocarbons content in contaminated soil samples before (A) and after (B) recultivation at a soil/peat ratio of 4:1 and 2:1

В образцах, где исходное содержание НУ превышало 20 000 мг/кг и соотношение грунт/торф составляло 2:1, содержание углеводородов снизилось в среднем на 10 000 мг/кг (40 %). В менее загрязненных образцах с соотношением грунт/торф 4:1 снижение составило в среднем 3000 мг/кг (35 %).

Активность дегидрогеназы в грунте после завершения эксперимента увеличилась в 5 раз и составила $0,31 \pm 0,16$ мг ТФФ/10 г (слабая активность), что свидетельствует о начале процессов микробиологической деструкции.

Значения рН водной вытяжки грунта перед проведением фитотестов находились в оптимальном для произрастания большинства растений диапазоне – 5,7–6,1, что не требовало проведения дополнительного известкования.

Результаты проведенных фитотестов указывают на значительное угнетение всхожести тест-культуры. Всхожесть семян щавеля в среднем составляла 7 % от контрольных показателей, а в образцах 5 и 11, где содержание НУ было максимальным, наблюдалась полная гибель семян.

После проведения рекультивации фитотесты показали, что всхожесть тест-культуры увеличилась в 1,6–3,7 раза. В образцах с исходным уровнем загрязнения менее 20 000 мг/кг средний показатель всхожести составил 21 ± 2 %, в образцах с высоким уровнем загрязнения (более 20 000 мг/кг) – 16 ± 2 %.

В образцах, где исходно отмечали полную гибель семян, после внесения торфа всхожесть составила 11–17 % (рис. 4).

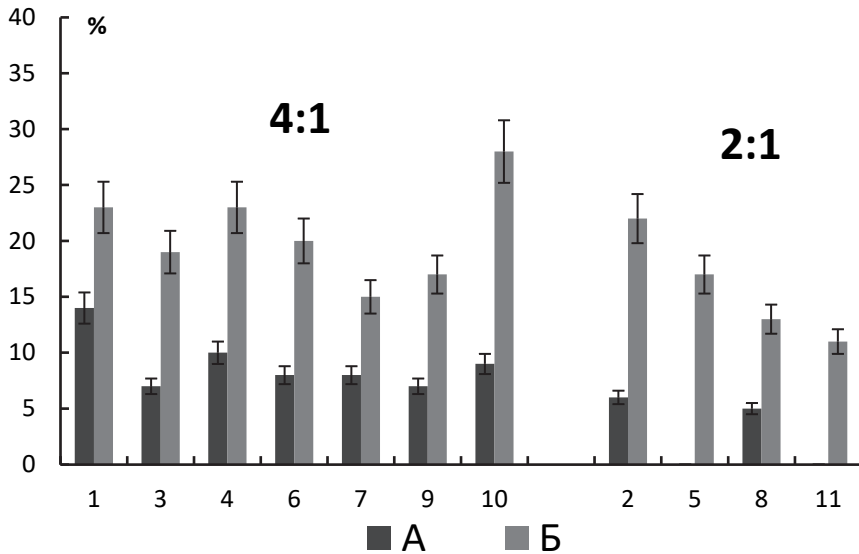


Рис. 4. Всхожесть семян щавеля в образцах загрязненного грунта до (А) и после (Б) рекультивации при соотношении грунт/торф 4:1 и 2:1

[Figure 4. Germination ability of sorrel seeds in contaminated soil samples before (A) and after (B) recultivation at a soil/peat ratio of 4:1 and 2:1]

Низкий показатель всхожести в загрязненных образцах обусловлен не только высоким содержанием НУ в грунте, но и неблагоприятным водным и питательным режимом – грунт в основном песчаный. Поэтому торф при внесении в такой грунт действует и как сорбент, и как компонент, улучшающий физические свойства почвы.

Установлена достоверная сильная отрицательная корреляция между содержанием НУ и всхожестью семян щавеля в образцах грунта ($r = 0,07-0,76$ при $p = 0,05$, $n = 11$).

В результате проведения лабораторных экспериментов показан положительный эффект от использования активированного торфа при выполнении биорекультивации загрязненных песчаных грунтов. При содержании НУ в грунте менее 10 000 мг/кг рекомендуется внесение торфа в соотношении грунт/торф 4:1, что является достаточным и эффективным. При более высоком содержании НУ рекомендуется увеличивать соотношение грунт/торф до 3:1 (10 000–20 000 мг/кг НУ) и 2:1 (более 20 000 мг/кг). За короткий период (две недели) удалось снизить содержание НУ на 22–47 %, при этом токсичность почвы по показателям всхожести тест-культуры снизилась.

Предложенный метод можно использовать для восстановления загрязненных территорий, в том числе в районах накопленного экологического ущерба в Арктической зоне РФ.

Рекомендации по рекультивации загрязненного участка. Рекультивация представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности земель, а также на улучшение усло-

вий окружающей среды в целом. Говоря о самом процессе рекультивации, принято выделять несколько ее этапов:

- 1) подготовительный (локализация нефтяного разлива техническими или мелиоративными сооружениями, сбор и удаление свободных нефтепродуктов);
- 2) технический и агротехнический (сбор и удаление загрязненных почв и грунтов, рыхление и полив почвы, внесение структураторов или сорбентов);
- 3) биологический (внесение минеральных и органических удобрений, биопрепаратов, фиторекультивация).

В рамках ликвидации накопленного экологического ущерба зачастую необходимо проводить рекультивацию локальных загрязнений, где ранее не проводились работы по очистке и восстановлению. На таких участках ввиду длительного времени, прошедшего с момента загрязнения, свободные нефтепродукты на поверхности грунта отсутствуют, и провести их сбор не представляется возможным. Сбор и удаление загрязненных грунтов в данных условиях также затруднительны, поскольку многие объекты находятся на значительном удалении от центров инфраструктуры и характеризуются низкой транспортной доступностью. Загрязненные грунты необходимо вывозить на специальную площадку для хранения и обеззараживания или оборудовать площадку по их обеззараживанию непосредственно на участке проведения работ. При этом площади локальных загрязнений невелики, что делает нецелесообразным транспортировку грунта или применение дорогостоящего оборудования.

При использовании торфа сбор и удаление загрязненного грунта можно не проводить или проводить частично на участках, где возможна миграция углеводородов и продуктов их трансформации на сопредельные территории или в водоемы.

Перед внесением торфа необходимо определить содержание НУ в грунте и их распределение по глубине для расчета необходимого количества торфа. Его наносят на поверхность грунта с последующим фрезерованием механизированным способом или перемешиванием и рыхлением вручную на глубину распространения загрязнения. Минеральные удобрения на месте проведения работ по рекультивации можно вносить и в торф, и в грунт.

Загрязненный участок, где проводились исследования, находится на значительном удалении от центров инфраструктуры, представлен сильно загрязненным песчаным грунтом, имеет небольшую площадь и по своим характеристикам подходит для проведения рекультивации с использованием торфа. Важным фактором будет являться то, что в регионе имеются запасы торфа, который может быть использован для выполнения подобных работ.

Среднее содержание НУ в грунте – $14\,967 \pm 675$ мг/кг, глубина загрязнения – 20 см, таким образом, соотношение грунт/торф, согласно проведенным исследованиям, должно быть 3:1. Количество торфа, необходимое для внесения в загрязненный грунт на площади 0,07 га – 60,7 т. На такую массу сорбента необходимо внести 33,4 кг минеральных удобрений в пересчете на действующее вещество. После внесения торфа нужно провести фрезерование участка и по возможности осуществить полив.

На следующем этапе целесообразно посеять устойчивые к загрязнению нефтепродуктами травянистые растения с введением в травосмесь местных

видов. Этап фиторекультивации может быть выполнен в тот же сезон при положительных результатах фитотестов или перенесен на следующий вегетационный период.

Заключение

В ходе проведения лабораторного эксперимента с использованием активированного торфа удалось снизить содержание НУ в загрязненном грунте на 22–47 % за две недели. При этом наблюдался рост активности почвенной дегидрогеназы в 5 раз, что косвенно указывает на активизацию микробиологического окисления углеводов.

Установлено оптимальное количество торфа, необходимое для внесения в загрязненный песчаный грунт, в зависимости от степени его загрязнения. При содержании НУ в грунте менее 10 000 мг/кг рекомендуется внесение торфа в соотношении грунт/торф 4:1. При более высоком содержании НУ рекомендуется увеличивать соотношение грунт/торф до 3:1 (10 000–20 000 мг/кг НУ) и 2:1 (более 20 000 мг/кг).

После проведения рекультивации всхожесть семян тест-культуры увеличилась в 1,6–3,7 раза. В образцах, где исходно отмечали полную гибель семян, после рекультивации всхожесть составила 11–17 %.

В результате исследования была показана эффективность предлагаемого метода рекультивации загрязненных участков, которые представлены сильно загрязненным песчаным грунтом, обладающим низкой биогенной активностью, и имеют небольшую площадь.

Список литературы

- [1] Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 270 с.
- [2] Namkoong W., Hwang E.Y., Park J.S., Choi J.Y. Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting // *Environ. Pollut.* 2002. Vol. 119. Pp. 23–31.
- [3] Abioye P.O., Aziz A.A., Agamuthu P. Enhanced biodegradation of spent motor oil in soil amended with organic wastes // *Water Air Soil Pollut.* 2010. Vol. 209. Pp. 173–179.
- [4] Onibon V.O., Fagbola O. Evaluation of bioremediation efficiency of crude oil-polluted soils as influenced by application of composts and NPK fertilizer // *Fres. Environm. Bull.* 2013. Vol. 22. No. 1. Pp. 61–66.
- [5] Пат. 2611159 РФ. Способ оценки эффективности рекультивации посредством торфа нарушенных тундровых почв с различной полной влагоемкостью / О.Б. Арно, А.К. Арабский, В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина, А.О. Алексеев, Т.Х-М. Салбиев, Е.П. Серебряков. Бюл. изобрет. 2017. № 6. 10 с.
- [6] ГОСТ Р 57447-2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019.
- [7] Чухарева Н.В., Шишмина Л.В. Сравнение сорбционных свойств торфа верхового и низинного типов по отношению к товарной нефти и стабильному газовому конденсату // *Химия растительного сырья*. 2012. № 4. С. 193–200.
- [8] Бурмистрова Т.И., Алексеева Т.П., Стахина Л.Д., Середина В.П. Исследование свойств торфа для решения экологических проблем // *Химия растительного сырья*. 2009. № 3. С. 157–160.
- [9] Галиулин Р.В., Башкин В.Н., Галиулина Р.А. Разложение углеводов нефти в почве под действием торфяного компоста // *Химия твердого топлива*. 2012. № 5. С. 52–53.

- [10] Бурмистрова Т.И., Алексеева Т.П., Перфильева В.Д., Терещенко Н.Н., Стахина Л.Д. Биодegradация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа // Химия растительного сырья. 2003. № 3. С. 69–72.
- [11] Адельфинская Е.А., Беляев А.М. Исследование эффективности микробиологической стадии рекультивации нефтезагрязненных земель // Булатовские чтения. 2018. Т. 5. С. 41–45.
- [12] ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 2006. 21 с.
- [13] Определение активности дегидрогеназы. Практикум по агрохимии: учебное пособие / под ред. В.Г. Минеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
- [14] Гапонюк Э.И., Малахов С.В. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: тр. 4-го Всесоюз. совещ. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 3–10.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22.05.2020

Дата принятия к печати: 27.05.2020

Для цитирования:

Адельфинская Е.А., Мязин В.А. Использование активированного торфа для рекультивации грунтов, загрязненных нефтепродуктами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 2. С. 160–171. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-160-171>

Сведения об авторах:

Адельфинская Екатерина Андреевна, магистрант кафедры промышленной экологии и чистого производства Национального исследовательского университета ИТМО. E-mail: adelfinskayakate19@gmail.com

Мязин Владимир Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН»; старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН. E-mail: myazinv@mail.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-2-160-171

Scientific article

Use of activated peat for remediation of soils contaminated with petroleum products

Ekaterina A. Adelfinskaya^{1*}, Vladimir A. Myazin²

¹ITMO National Research University,

49 Kronverkskii Ave, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

²Institute of Industrial Ecology of the North – a separate division of the Federal Research Center “Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, 14A, Akademgorodok, Apatity, 184209, Russian Federation

*adelfinskayakate19@gmail.com

Abstract. One of the most serious environmental problem in the Far North of the Russian Federation is the pollution of the territory by oil and oil products. Ecosystems of this region are extremely vulnerable, their remediation after anthropogenic impact, such as spill of

fuels, can last for decades. This is the reason for necessity of the development of effective methods for cleaning and restoring oil-contaminated lands. As a result of undertaken laboratory study, the possibility of bioremediation of soils contaminated with oil products using activated peat as a sorbent and organic fertilizer was shown. Two weeks after the addition of activated peat, the content of petroleum hydrocarbons in the soil decreased by 22–47% due to dilution of pollution and improvement of air and nutrient regime. After reclamation, the germination rate of the seeds of a test culture increased by 1,6–3,7 times. The optimum amount of peat required for adding into contaminated sandy soil, depending on the degree of contamination, has also been established. Based on the studies, recommendations for the remediation of the contaminated area of 0.07 ha located in the north-west of the Murmansk region using peat and mineral fertilizers were developed.

Keywords: reclamation, petroleum hydrocarbons, peat, phytotoxicity, sandy soil, Far North

References

- [1] Seredina VP, Andreeva TA, Alekseeva TP, Burmistrova TI, Tereshchenko NN. *Neftezagryaznennyye pochvy: svoystva i rekul'tivatsiya* [Oil-contaminated soils: properties and remediation]. Tomsk: TPU Publ.; 2006.
- [2] Namkoong W, Hwang EY, Park JS, Choi JY. Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. *Environ. Pollut.* 2002;(119):23–31.
- [3] Abioye PO, Aziz AA, Agamuthu P. Enhanced biodegradation of spent motor oil in soil amended with organic wastes. *Water Air Soil Pollut.* 2010;(209):173–179.
- [4] Onibon VO, Fagbola O. Evaluation of bioremediation efficiency of crude oil-polluted soils as influenced by application of composts and NPK fertilizer. *Fres. Environm. Bull.* 2013;(22):61–66.
- [5] Arno OB, Arabskii AK, Bashkin VN, Galiulin RV, Galiulina RA, Alekseev AO, Salbiev TX-M, Serebryakov EP. Patent 2611159 of the Russian Federation. *Sposob otsenki effektivnosti rekul'tivatsii posredstvom torfa narushennykh tundrovyykh pochv s razlichnoi polnoi vlogoemkost'yu* [Method for assessing the effectiveness of reclamation by means of peat of disturbed tundra soils with different moisture capacity]. Bull. Invent. 2017. No. 6.
- [6] GOST R 57447-2017. *Nailuchshie dostupnyye tekhnologii. Rekul'tivatsiya zemel' i zemel'nykh uchastkov, zagryaznennykh nef't'yu i nefteproduktami. Osnovnyye polozheniya* [The best technology available. Reclamation of lands contaminated with oil and oil products. The main provisions]. Moscow: Standartinform Publ.; 2019.
- [7] Chukhareva NV, Shishmina LV. Comparison of the sorption properties of peat of high and low types with respect to marketable oil and stable gas condensate. *Chemistry of plant raw materials.* 2012;(4):193–200.
- [8] Burmistrova TI, Alekseeva TP, Stakhina LD, Seredina VP. The study of peat properties to solve environmental problems. *Chemistry of plant materials.* 2009;(3):157–160.
- [9] Galiulin RV, Bashkin VN, Galiulina RA. The decomposition of oil hydrocarbons in the soil under the action of peat compost. *Chemistry of solid fuels.* 2012;(5):52–53.
- [10] Burmistrova TI, Alekseeva TP, Perfilieva VD, Tereshchenko NN, Stakhina LD. Biodegradation of oil and oil products in soil using ameliorants based on activated peat. *Chemistry of plant raw materials.* 2003;(3):69–72.
- [11] Adelfinskaya EA, Belyaev AM. A study of the effectiveness of the microbiological stage of reclamation of oil-contaminated lands. *Bulatov readings.* 2018;(5):41–45.
- [12] PND F 16.1: 2.2.22-98. *Kolichestvennyy khimicheskii analiz pochv. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli nefteproduktov v mineral'nykh, organogennykh, organomineral'nykh pochvakh i donnykh otlozheniyakh metodom IK-spektrometrii* [Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring the mass fraction of petroleum products in mineral, organogenic, organomineral soils and bottom sediments by IR-Spectrometry]. Moscow; 2006.

- [13] Mineev VG. *Opredelenie aktivnosti degidrogenazy. Praktikum po agrokhimii [Determination of dehydrogenase activity. Workshop on agrochemistry]*. 2nd ed. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 2001.
- [14] Gaponyuk EI, Malakhov SV. Kompleksnaya sistema pokazatelei ekologicheskogo monitoringa pochv [Integrated system of indicators for environmental monitoring of soils]. *Migratsiya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh i sopredel'nykh sredakh [Migration of pollutants in soils and adjacent environments]*: proceedings of the 4th All-Union conference. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1985. p. 3–10.

Article history:

Received: 22.05.2020

Revised: 27.05.2020

For citation:

Adelfinskaya EA, Myazin VA. Use of activated peat for remediation of soils contaminated with petroleum products. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(2):160–171. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-160-171>

Bio notes:

Ekaterina A. Adelfinskaya, master student of the Department of Industrial Ecology and Clean Production of the ITMO National Research University. E-mail: adelfinskayakate19@gmail.com

Vladimir A. Myazin, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the Institute of Industrial Ecology of the North – a separate division of the Federal Research Center “Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”; senior researcher of the Saint Petersburg Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences. E-mail: myazin@mail.ru