

классификационных задач, связанных с установлением видовой принадлежности. Учитывая даже незначительные различия в химическом составе деревьев, он оказался эффективным инструментом для разделения древесных пород. В дальнейшем возможности метода БИК-спектроскопии для идентификации породы дерева могут быть расширены путем:

- увеличения количества измерений;
- исключения влияния времени: хранение, старение, окисление;
- количественной оценки / дифференциации вклада естественной изменчивости древесины, условий произрастания, генетики и др. [5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lazarescu, C. Wood species identification by near-infrared spectroscopy / A. Russ, M. Firesova, J. Gigac // International Wood Products Journal. – 2017. – V. 8. – №. 1. – P. 32-35.
2. Pace, J. H. C. Wood species identification from Atlantic forest by near infrared spectroscopy / J. H. Pace [et al.] //Forest systems. – 2019. – V. 28. – №. 3. – P. 3.
3. Nisgoski, S. Potential use of NIR spectroscopy to identify Cryptomeria japonica varieties from southern Brazil / S. Nisgoski [et al.] //Wood Science and Technology. – 2016. – V. 50. – №. 1. – P. 71-80.
4. Kessler, W. A Handy Tool for Chemometrics: The Unscrambler X / W. Kessler // Scientific Computing. 2010. Vol. 27, issue. 4.–13 p.
5. Sandak, A. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber / A. Sandak, J. Sandak, M. Negri //Wood science and technology. – 2011. – V. 45. – №. 1. – P. 35-48.

## ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПОЧВ, ПРИ ИХ БИОРЕМЕДИАЦИИ EVALUATION OF PHYTOTOXICITY OF SOILS CONTAMINATED BY OIL PRODUCTS, UNDER THEIR BIOREMEDIACTION

**A. С. Чердакова, С. В. Гальченко, Н. В. Сарайкина**  
**A. Cherdakova, S. Galchenko, N. Saraikina**

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, Российская Федерация  
cerdakova@yandex.ru

Ryazan State University named S.A. Yesenin, Ryazan, Russian Federation

Приводятся результаты экспериментальной оценки степени детоксикации, загрязненных различными нефтепродуктами почв, при их микробиологической ремедиации. Степень детоксикации почв оценивалась по уровню их фитотоксичности. Результаты исследований показали, что осуществление биоремедиационных мероприятий с использованием микробиодеструкторов не позволяет осуществить полную детоксикацию почвы, загрязненной нефтепродуктами. Материалы подготовлены в рамках реализации гранта РФФИ и Правительства Рязанской области № 18-45-623003 р\_мол\_а «Исследование влияния биоПАВ на основе гуминовых веществ на процессы микробиологической ремедиации природных сред, загрязненных нефтепродуктами».

The results of an experimental assessment of the degree of detoxification of soils contaminated with various oil products during their microbiological remediation are presented. The degree of soil detoxification was evaluated by the level of their phytotoxicity. The research results showed that the implementation of bioremediation measures using microbiodestructors does not allow complete detoxification of soil contaminated with oil products. The materials were prepared under the grant of the RFBR and the Government of the Ryazan Region No. 18-45-623003 r\_mol\_a «Study of the effect of bio-surfactants based on humic substances on the processes of microbiological remediation of natural environments contaminated with oil products».

*Ключевые слова:* загрязнение почвы, нефтепродукты, биоремедиация, фитотоксичность, биотестирование, гуминовые вещества.

*Keywords:* soil pollution, petroleum products, bioremediation, phytotoxicity, biotesting, humic substances.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-313-316>

Для современного этапа развития общества характерен перманентный рост объемов производства и потребления различных нефтепродуктов. Так, по состоянию на 2018 год на их долю приходилась подавляющая часть совокупного потребления энергии, а мировые объемы производства за последние 25 лет выросли более чем на 35 % [1].

К числу негативных последствий указанных процессов, в первую очередь, относится загрязнение нефтяными углеводородами всех компонентов окружающей среды и, как следствие, деградация экосистем. Особую опасность представляет собой загрязнение нефтепродуктами почв. Поскольку при этом возникает риск миграции загрязнителей в сопряженные с почвой природные среды, происходит угнетение растительности и почвенной биоты, нарушается биогеохимический круговорот ряда элементов, а процессы самоочищения почв протекают крайне медленно.

Нефтепродукты обладают выраженной токсичностью по отношению ко всем живым организмам. Загрязнение почв нефтепродуктами оказывает на биоту, как прямое воздействие, так и косвенное. Прямое воздействие заключается в непосредственном влиянии токсикантов на живые организмы при контакте с ними или при их поглощении организмами. Косвенное воздействие выражается в изменении среды обитания живых организмов по причине ухудшения физических и химических свойств почвы при загрязнении ее нефтяными углеводородами.

Характер влияния нефтепродуктов на окружающую среду, а также токсичность по отношению к биоте зависят от их физико-химических свойств, которые по большей части определяются фракционной принадлежностью. Нефтепродукты легких фракций характеризуются высокой миграционной активностью в окружающей среде, средних и тяжелых фракций, напротив, менее подвижны, медленно биоутилизируются и при попадании в экосистемы приводят к серьезным нарушениям их компонентов.

В наибольшей степени от загрязнения почв нефтепродуктами страдает эдафон (почвенная биота) и произрастающие на ней растения. Очень высокой чувствительностью к нефтяным углеводородам обладают высшие растения на ранних этапах своего развития, что обуславливает их широкое применение для оценки качества загрязненных почв путем установления уровня фитотоксичности.

В настоящее время для восстановления и детоксикации почв, загрязненных нефтепродуктами, применяются различные методы: механические, физико-химические, химические, биологические, каждые из которых имеют свои преимущества и недостатки.

Среди множества способов восстановления нефтеагрязненных сред, биологические методы, а именно использование микробиодеструкторов, для которых нефтяные углеводороды служат питательной средой, являются наиболее приемлемыми, эффективными, экологически безопасными и экономически выгодными [2].

Однако зачастую деятельность вносимых в почву микробиоремедиаторов лимитируют такие факторы, как чрезвычайно высокие уровни загрязнения, низкое содержание питательных веществ, повышенная кислотность почвенного раствора и др. По указанным причинам даже после применения биодеструкторов не отмечается полной детоксикации почв от нефтеуглеводородного загрязнения. В этой связи, особую актуальность приобретают исследования по оценке токсичности, подверженных загрязнению нефтепродуктами почв, после проведения биоремедиационных мероприятий по их восстановлению.

Цель проведенных исследований заключалась в оценке степени детоксикации почв, загрязненных различными нефтепродуктами, при их микробиологической ремедиации.

Исследования осуществлялись в условиях вегетационного эксперимента, в котором моделировались процессы биоремедиации почв, подверженных загрязнению нефтепродуктами, с применением культур нефтеокисляющих микроорганизмов. Для закладки эксперимента использовались образцы серой лесной почвы. Отбор проб серой лесной почвы осуществлялся с участка не подверженного прямому техногенному воздействию, с глубины гумусового горизонта, по общепринятой методике.

Моделирование нефтеуглеводородного загрязнения осуществлялось путем внесения в серую лесную почву нефтепродуктов тяжелых фракций – дизельного топлива и мазута, в количестве 50 г/кг и 100 г/кг. Данный выбор обусловлен тем, что именно тяжелые нефтепродукты, ввиду медленной биодеструкции, оказывают наиболее длительное токсическое последействие на биоту, даже после ремедиации загрязненной ими почвы.

В качестве источника нефтеокисляющих микроорганизмов применялся биопрепарат «Дестройл», представляющий собой культуру штамма *Acinetobacter species JN-2*. Это неспоровые, неподвижные, грамотрицательные бактерии, обладающие высокой способностью к биодеструкции нефтяных углеводородов. Микробиопрепарат «Дестройл» применяли в виде суспензии, приготовленной согласно инструкции.

Контролем в эксперименте служили образцы серой лесной почвы, незагрязненной нефтепродуктами и без обработки микробиопрепаратором. Повторность в эксперименте – четырехкратная. Продолжительность экспозиции экспериментальных образцов составляла 4 месяца.

Степень детоксикации почв в эксперименте оценивалась методом биотестирования по уровню их фитотоксичности согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [3]. В соответствии с рекомендациями указанного стандарта в качестве тест-культур использовались редька масличная (*Brassica rapa*) и овес посевной (*Avena sativa*).

Для оценки фитотоксичности из каждого вегетационного сосуда отбиралось по 20 г почвы. Данная навеска почвы помещалась в чашки Петри, увлажнялась до 80% полной влагоемкости и перемешивалась до однородной консистенции. В подготовленную таким образом почву высаживалось по 20 непротравленных семян используемых тест-культур. Продолжительность эксперимента составляла семь суток. Исследуемые образцы находились в условиях постоянной температуры (+ 23°C) и освещения (13000 люкс, 16-ти часовой световой день). Критерием оценки фитотоксичности почвы являлось число проросших семян.

Статистическая обработка всех экспериментальных данных проводилась с использованием приложения Microsoft Office Excel и программного пакета Statistica.

Результаты проведенных исследований несколько варьировали для различных тест-культур.

Так, на вариантах эксперимента с использованием редьки масличной (*Brassica rapa*) отмечена разница в фитотоксичности анализируемых нефтепродуктов (рис. 1).

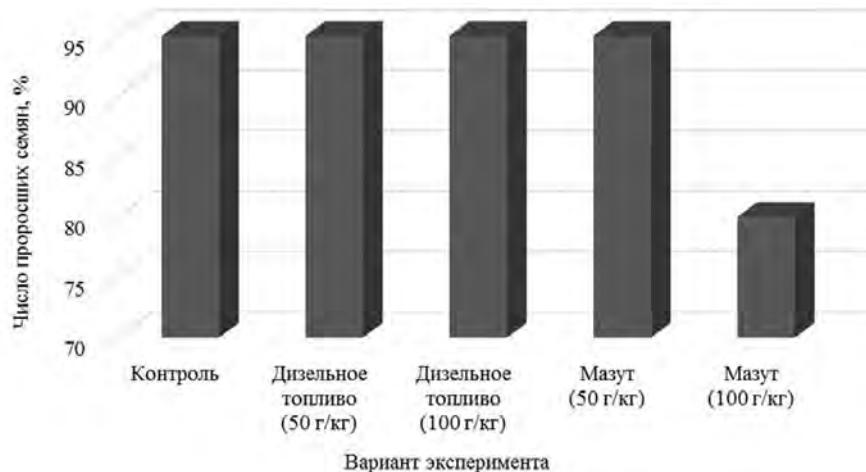


Рисунок 1 – Число проросших семян редьки масличной (*Brassica rapa*) в эксперименте

В данном случае загрязнение почвы дизельным топливом не оказалось значимого токсического влияния на семена тест-культуры. Но, внесение в почву мазута, особенно в концентрации 100 г/кг, привело к угнетению развития редьки масличной (*Brassica rapa*).

На вариантах с использованием в качестве тест-культуры овса посевного (*Avena sativa*) отмечалось заметное ингибирование процессов прорастания семян под воздействием нефтяных углеводородов (рис. 2).

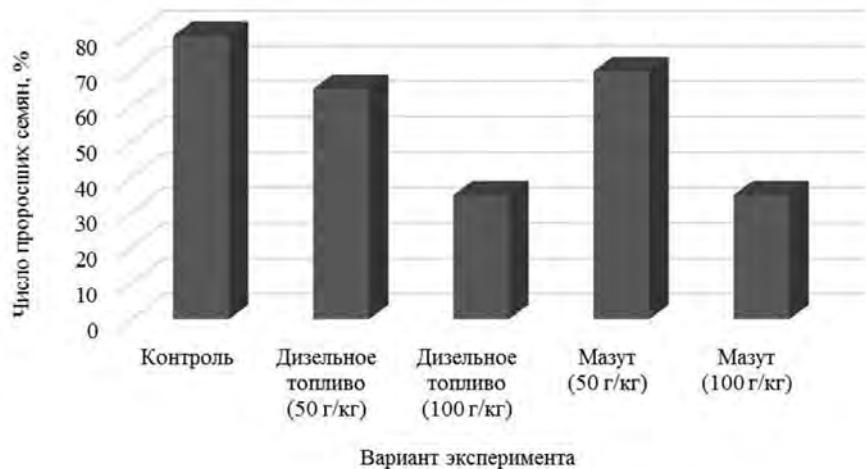


Рисунок 2 – Число проросших семян овса посевного (*Avena sativa*) в эксперименте

При этом, дизельное топливо и мазут оказали примерно одинаковый фитотоксический эффект по отношению к тест-культуре. Однако в эксперименте была заметна отчетливая тенденция снижения числа проросших семян с ростом концентрации нефтепродуктов в почве, что характерно, как для дизельного топлива, так и для мазута. Так, при внесении в почву нефтепродуктов в количестве 50 г/кг, число проросших семян снижалось на 10-15 % по сравнению с контролем. С увеличением концентрации загрязнителей до 100 г/кг, разница между контрольными и экспериментальными вариантами уже составляла 35 %, независимо от вида нефтепродукта. В данном случае определяющую роль в токсичном влиянии загрязненной нефтепродуктами почвы сыграла концентрация загрязнителя, а не его индивидуальные свойства.

На основании приведенных данных, можно заключить, что осуществление биоремедиационных мероприятий с использованием микробиодеструкторов не позволяет осуществить полную детоксикацию почвы, загрязненной нефтепродуктами тяжелых фракций. Даже по истечении четырех месяцев с момента внесения в почву нефтеокисляющих микроорганизмов отмечается фитотоксический эффект, выраженность которого увеличивается по мере роста концентрации загрязнителей. Как уже отмечалось, причинами этого могут быть следующие факторы: длительность процессов биоутилизации тяжелых фракций нефтепродуктов, особенно в высоких концентрациях, ухудшение условий функционирования микронефтеадеструкторов по причине изменения кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств загрязненных почв и др.

Ввиду указанных обстоятельств весьма целесообразен научный поиск результативных механизмов стимулирования действия микробиодеструкторов на процессы разложения нефтепродуктов в почве и детоксикации загрязнения.

В указанном аспекте максимально эффективным является использование диспергентов на основе ПАВ. Их применение приводит к дроблению пленки нефтеуглеводородов на множество отдельных устойчивых структур, что, в свою очередь, способствует увеличению площади взаимодействия микроорганизмов с питательным субстратом. Однако используемые в настоящее время химические диспергенты оказывают токсичное действие на биоту и могут выступать источником вторичного загрязнения окружающей среды. В качестве экологически безопасной альтернативы им зачастую рассматривают биологические поверхностно-активные вещества, в том числе гуминовые вещества и промышленные препараты на их основе [4].

Проявление поверхностно-активных свойств гуминовыми веществами обусловлено амфи菲尔ным характером их строения, т.е. наличием в молекулярной структуре гидрофобных, образующих ароматический каркас и гидрофильных, составляющих периферийную часть компонентов. Ввиду чего они способны снижать поверхностное натяжение, препятствуя коалесценции капель нефти или нефтепродукта. В результате данного процесса происходит увеличение площади удельной поверхности капель нефтепродуктов и рост их доступности для микроорганизмов-деструкторов.

Кроме того, гуминовые вещества обладают выраженными детоксицирующими свойствами, могут служить источником крайне необходимых для нефтеокисляющих микроорганизмов биогенных элементов (азот, фосфор и др.) и положительно влияют на важные для их функционирования свойства почвы (рН, окислительно-восстановительные условия и др.). Тем самым гуминовые вещества способствуют формированию благоприятных условий для «работы» микробиоремедиаторов [5].

Однако приводящиеся на данный момент в научной литературе немногочисленные сведения о применении в процессах восстановления нефтезагрязненных почв биоПАВ на основе гуминовых веществ носят противоречивый характер. Также в фокусе вопроса о перспективах использования гуминовых препаратов для целей биоремедиации нефтезагрязненных почв еще остается неосвещенным ряд ключевых моментов. Среди них: зависимость процессов микробиодеструкции нефтеуглеводородного загрязнения почв от концентрации и свойств вносимых гуминовых препаратов; специфика ответной реакции культур микроорганизмов-нефтедеструкторов на различные дозы гуминовых препаратов и результативность совместного использования микробиодеструкторов и гуминовых препаратов для восстановления почв, загрязненных различными типами нефтепродуктов. Данные обстоятельства обуславливают необходимость проведения дальнейших исследований в рамках обозначенной проблемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический ежегодник мировой энергетики [Электронный ресурс]: Мировая Энергетическая Статистика Yearbook. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/>. – Дата доступа: 07.08.2020.
2. Bioremediation of Oil Spills on Land / L. D. Brown [et al.]. – Oil Spill Science and Technology: Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada, 2015. – 724 p.
3. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. Дата введения: 2011-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2011. – 33 с.
4. Lipczynska-Kochany, E. Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil: A review / E. Lipczynska-Kochany // Chemosphere. – 2018. – V. 202. – P. 420-437.
5. Гречищева, Н. Ю. Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред: дис. ... д-ра хим. наук: 03.02.08 / Гречищева Н. Ю. – М., 2016. – 326 с.

## АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ, ПОТЕНЦИАЛЬНО СОДЕРЖАЩИХ БРОМИРОВАННЫЕ АНТИПИРЕНЫ, НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

## ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF POLYMER WASTE POTENTIALLY CONTAINING BROMINATED FLAME RETARDANTS ON THE TERRITORY OF BELARUS

**В. Д. Чернюк, Т. И. Кухарчик**  
**V. Chernyuk, T. Kukharchyk**

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларусь»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
chernyuk.vladimir.m@mail.ru

*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Отходы пластика электронного и электротехнического оборудования (далее – ЭЭО), которые могут содержать бромированные антипирены, включая полибромдифениловые эфиры (далее – ПБДЭ), заслуживают особого регулирования. В соответствии со Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях (далее – СОЗ), необходимо их выявление и последующее изъятие из потока, поступающего на вторичную переработку.