

УДК 579.66

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДРЕВЕСНОЙ КОРОЙ «УНИСОРБ-БИО» НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МАЗУТОМ ПОЧВ

© *Т.В. Рязанова, О.С. Федорова**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 (Россия), e-mail: oc-57@mail.ru

В статье на примере искусственно загрязненной почвы рассмотрено влияние карбамидного сорбента «Унисорб-Био», модифицированного древесной корой, на биодеструкцию мазута.

Показано, что за 100 суток экспонирования «Унисорб-Био» и иммобилизованные на нем актиномицеты (штамм *Streptomyces exfoliatus*) способны эффективно разлагать мазут. Максимального значения степень деструкции мазута составила 82.7% в образцах почвы с сорбентом, модифицированным корой березы. В образцах с корой лиственницы этот показатель ниже на 7.3%. Степень деструкции мазута в контрольном образце почвы (почва с мазутом) за весь период экспонирования составила 27.4%. Если эту цифру принять за фоновую, то только прямой вклад в деградацию мазута биосорбента составляет 45.1%; биосорбента с 0.2% диаммофоски – 55%; сорбента без микроорганизмов – 33.8%.

Результаты показали, что используемый карбамидный сорбент с иммобилизованной и аборигенной микрофлорой способен эффективно разлагать мазут до концентраций, позволяющих переходить к агротехническим мероприятиям. Так, посев кресс-салата на почвах после завершения эксперимента показал, что всхожесть семян составляет 50–60%, это позволяет утверждать, что остаточные концентрации мазута относительно безвредны для корневой системы растений и завершение процесса биоремедиации может быть проведено посредством выращивания растений, устойчивых к остаточным концентрациям загрязнителя.

В целом результат подтверждает эффективность применяемого метода в ускорении процессов биоремедиации, но требуется доработка в направлении создания смешанных ассоциаций УВОМ.

Ключевые слова: почва, загрязнение мазутом, биопрепарат «Унисорб-Био», актиномицеты, биоремедиация.

Введение

Нефть и продукты ее переработки относятся к группе самых распространенных и трудноразлагаемых загрязнителей в природе. Естественный процесс разложения многокомпонентных смесей углеводородов (УВ) растягивается на многие десятилетия, что связано с особенностью химического состава, строения и обусловленных этим трудностей их ферментативного окисления. Увеличение потребления топлива и смазочных материалов, различных пластических масс и других продуктов нефтехимии и, как следствие, постоянный рост добычи и объемов транспортировки нефти связаны с растущим загрязнением окружающей среды нефтью и нефтепродуктами [1–4].

Для ускорения восстановления загрязненных нефтяными углеводородами экосистем необходимо использовать не только технические средства, но и биологические резервы микробных сообществ, так как окисление углеводородов микроорганизмами – это ведущий фактор процесса биодеградации нефти [5].

Сохранение природы и восстановление – рекультивация нарушенных территорий в местах добычи, транспортировки и переработки нефти – проблема, имеющая глобальный характер и масштабы которой нарастают с каждым годом и требуют поиска новых решений для интенсификации восстановительных про-

Рязанова Татьяна Васильевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии,
e-mail: tatyana-htd09@mail.ru

Федорова Ольга Семеновна – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, e-mail: oc-57@mail.ru

цессов. Так, на долю предприятий топливно-энергетического комплекса приходится около 48% выбросов вредных веществ в атмосферу, 27% сброса загрязненных сточных вод, свыше 30% твердых отходов [6].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Сбор и локализация нефтепродуктов в местах разлива осуществляется механическими или сорбционными методами, но полное очищение остаточных концентраций углеводов в почве и водоемах может осуществляться только биологически [7, 8].

Структура микробиоценоза формируется исходя из качественного состава и концентрации загрязнителя. Биоокисление – процесс преимущественно аэробный и серьезно лимитируется доступностью растворенного молекулярного кислорода, соотношением основных биогенных элементов при положительных температурах и достаточной влажности среды. Полное восстановление нефтезагрязненных территорий проводится активацией собственной микрофлоры почвы, созданием оптимальных условий для размножения, либо интродукцией специализированной углеводородокисляющей микрофлоры в жидком или иммобилизованном виде [9].

Определенные преимущества во втором случае имеют биосорбенты комбинированного действия типа «Унисорб», содержащие в составе композиции биогенные компоненты [10].

Благодаря развитой пористой структуре сорбент обладает высокой нефтеемкостью и достаточной прочностью. В то же время он может выполнять дополнительно еще две функции: быть иммобилизующим агентом для микроорганизмов и источником биогенных компонентов азота и фосфора, создавая при этом благоприятное соотношение этих элементов в системе углерод : азот : фосфор, тем самым ускоряя окисление в среде с избытком углеводов. Применение биосорбента типа «Унисорб-Био» позволяет осуществлять одновременно локализацию разлива и биоокисление углеводов *in situ*, без дорогостоящих мероприятий по сбору и перемещению загрязненных грунтов. Сорбент обладает рядом уникальных свойств: сорбирует углеводороды, сорбционная емкость 40 г и более углеводов на грамм сорбента, локализуют место разлива нефти и нефтепродуктов, одновременно является удобрением, структурообразователем почвы, мелиорантом и носителем иммобилизованной микрофлоры, нетоксичен, работает в широком диапазоне рН среды, не требует сбора и утилизации, что особенно важно для заболоченных территорий и северных районов Сибири [11]. Применение таких комплексных биопрепаратов позволяет создать для микроорганизмов благоприятные условия, тем самым обеспечить их быстрый рост и размножение.

Самым сложным для микробной деградациии является мазут. Это высокомолекулярная нефтяная фракция, представленная смолами и асфальтенами. Их основу составляют гетероциклические, алициклические, ароматические конденсированные углеводороды. Молекулярная масса – от 400 до 3000 г/моль. [12]. Вредное экологическое влияние смолисто-асфальтеновых компонентов на почвенные экосистемы заключается не в химической токсичности, как у низкомолекулярных фракций, а в значительном изменении водно-физических свойств почвы. Почвенные поры и корни растений полностью блокируются, что вызывает подавление биоценоза в целом [13, 14].

Степень воздействия тяжелых углеводов прямо коррелирует с их концентрацией в почве. Углеводороды практически нерастворимы в воде, что затрудняет их поглощение микробными клетками и ферментативное разложение. Условием эффективного разложения углеводов является обширная поверхность раздела фаз углеводород-вода. Установлено, что существенное влияние на деструкцию мазута оказывает внесение диаммофоски [15, 16].

Бактериальное сообщество, участвующее в окислении нефтяных загрязнений, представлено огромным разнообразием видов и родов углеводородокисляющей микрофлоры (УВОМ). Самыми способными к борьбе с загрязнителями различного типа являются представители рода *Pseudomonas* – они содержат оксидоредуктазы и гидроксилазы, способные разлагать большое число молекул углеводов и ароматических соединений [9]. Такие представители, как *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, *Flavobacterium tirrenikus*, *Rhodococcus maris*, *Candida sp*, *Arthrobacter*, *Nocardia*, преимущественно развиваются на алифатических соединениях и обладают высокой скоростью роста. Известно, что актиномицеты доминируют в поздних сукцессиях при деградациии УВ и развиваются на сложных, в том числе смолистых, ароматических и гетероциклических субстратах. Из-за медленного роста они не способны конкурировать с немичеселиальными бактериями за легкодоступные вещества [17–19].

Преимущество бактериальной очистки по сравнению с химической в том, что она не вызывает появления нового загрязняющего агента в окружающей среде [20].

Для успешной и эффективной биодеградациии нефтяных компонентов помимо использования полимикробного комплекса необходимо создание оптимальных условий среды, которые позволят активизиро-

вать процесс естественного самоочищения или управляемой биодegradации, в основе которого лежит целенаправленное ферментативное воздействие УВОМ на компоненты среды, приводящее к образованию доступных для их жизнедеятельности форм субстрата. Под созданием оптимальных условий понимается максимальное устранение факторов, ограничивающих рост микроорганизмов, таких как гидрофобность субстрата, недостаток кислорода, низкая температура, недостаток биогенных элементов, реакция среды.

Нефтезагрязненная почва может рассматриваться как естественная иммобилизованная система, характеризующаяся особым распределением микробиоты по поверхностям минеральных частиц, компонентов органического происхождения, а также по поверхности адсорбированного и эмульгированного в почвенном растворе углеводородного загрязнителя [21]. Поэтому применение иммобилизованной на сорбенте УВОМ является максимально приближенной к естественным условиям существования микробиоценоза.

Цель настоящей работы – показать эффективность применения для биодegradации мазута сорбента «Унисорб-Био», модифицированного древесной корой с иммобилизованными актиномицетами (штамм *Streptomyces exfoliatus*) и диааммофоски.

Экспериментальная часть

Объектами исследования были карбамидный сорбент «Унисорб-Био», модифицированный древесной корой (луб береза и кора лиственницы) – биопрепарат, полученный методом капельного орошения сорбента типа «Унисорб» («Сорбенты полимерные» по ТУ 2223-001-02067907-1996, с изменениями № 1 2006 г., производство ООО «НПФ» ЭКОСОРБ») суспензией штамма *Streptomyces exfoliatus*. Содержание коры в сорбенте составляло 3%. Условия получения модифицированных сорбентов приведены в [22]. Штамм *Streptomyces exfoliatus*, относящийся к группе актиномицетов, был выделен из загрязненной мазутом почвы на селективных средах с использованием почвенных экстрактов и глюкозо-пептонного агара. Способность к окислительной дegradации мазута проверялась на агаризованной среде Мюнца. Изоляты были выделены в чистую культуру и идентифицированы секвенированием ДНК. Молекулярно-генетическая идентификация выделенных штаммов выполнена на основании ПЦР-амплификации и секвенирования гена 16S рРНК с использованием стандартных методов молекулярной биологии (полимеразная цепная реакция, выделение фрагментов ДНК из агарозного геля, определение и анализ нуклеотидных последовательностей). Для уточнения видовой принадлежности чистых культур проводили анализ нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК. Секвенирование проводили в институте Микробиологии РАН (г. Москва).

Для получения биомассы актиномицетов, как инокулята, использовали среду следующего состава (грамм на литр): NaNO_3 – 3.0; K_2HPO_4 – 1.0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.5; KCl – 0.5; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.01. В качестве единственного источника углерода и энергии использовали нефть после удаления летучих компонентов.

Испытания проводили в нестерильных условиях, моделирующих естественные, в двух повторностях, в контейнерах с искусственно внесенным мазутом в количестве 30% от а.с.м. почвы. Навеску замасуоченной почвы 200 г помещали в пластиковый контейнер объемом 500 см³, затем вносили сорбент «Унисорб-Био» в количестве 1, 3 и 5% от а.с.м. почвы и жидкую культуру штамма *Streptomyces exfoliatus*, (титр $1.4 \cdot 10^8$ кл./мл) в количестве 10% (об) от а.с.м. сорбента. Для активации аборигенной микрофлоры дополнительно вносили диааммофоску в количестве 0.1, 0.2, 0.3% от а.с.м. почвы.

Почву увлажняли до относительной влажности 60–65%. После внесения всех компонентов производили тщательное перемешивание. Полив и рыхление почвы осуществляли через каждые три дня. В качестве контроля использовали почву, загрязненную мазутом, без внесения биопрепарата и удобрений.

Эксперимент проводили в течение 100 суток при 18–20 °С.

По ходу процесса на 20, 40, 60, 80, 100-е сутки определяли степень деструкции мазута гравиметрически, после экстракции УВ-хлороформом [23].

Обсуждение результатов

Как показал анализ литературных данных и ранее проведенные нами исследования, наиболее существенное влияние на процесс дegradации УВ оказывает карбамидный сорбент «Унисорб-Био», содержащий нефтеокисляющую микрофлору и обладающий комбинированным действием [10, 11].

Из результатов, представленных на рисунке 1, следует, что несмотря на достаточно сложный химический состав и консистенцию, мазут может быть подвергнут микробной деструкции, но степень деструкции

зависит от типа используемого сорбента. Около 50% внесенного мазута утилизируется при внесении 1% «Унисорб-Био», содержащего 3% коры и КОЕ 10^7 кл/г, при этом разница между сорбентами разной модификации составляет менее четырех процентов.

С увеличением количества вносимого сорбента до 3% существенно увеличивается и степень деструкции мазута, особенно это заметно по сорбенту с корой березы, в данном случае степень деструкции увеличилась по сравнению с сорбентом, внесенным в количестве 1% на 28%. В то же время у сорбента, модифицированного корой лиственницы, увеличение составило 7.4%.

При 5% внесении модифицированных сорбентов степень деструкции мазута увеличилась до 82.7% для сорбента с корой березы и 75.5% с корой лиственницы. Судя по результатам, использование для деградации мазута «Унисорб-Био», модифицированного корой березы, экономически более целесообразно даже при внесении его в количестве 3% от а.с.м. почвы.

О биодegradации мазута в почве и влиянии на этот процесс ряда факторов: внесение «Унисорб» без микрофлоры и с иммобилизованной микрофлорой – «Унисорб-Био», дополнительное внесение диаммофоски для активации микрофлоры в количестве, %, 0.1, 0.2 и 0.3, и продолжительность экспонирования, можно судить по результатам, приведенным на рисунке 2.

В этой серии экспериментов для деструкции мазута использовали «Унисорб», содержащий кору березы в количестве 3%, который вносили в количестве 3% от а.с.м. почвы.

Варианты 1–4, результаты которых позволяют оценить воздействие «Унисорб-Био», без удобрения вариант 1; с внесением диаммофоски, в количестве 0.1, 0.2, 0.3% от а.с.м. почвы, соответственно, – варианты 2, 3, 4; контроль – вариант 6 (замазученная почва).

Как следует из результатов, деструкция загрязнения в предложенных условиях протекает с высокой скоростью, несмотря на всю сложность субстрата. Более половины массы мазута подвергается разложению в течение первых 20 суток практически по всем вариантам. Максимальное снижение концентрации 64.7% произошло в случае обработки «Унисорб-Био» с дополнительным внесением 0.2% диаммофоски (вариант 3), что связано с увеличением доли фосфора и восстановленного азота в среде, которые необходимы для микрофлоры при избытке углерода. Высокие показатели деструкции мазута для варианта 3 сохранялись в течение всего периода экспонирования, за 100 суток она выросла до 82.4%, что соответствует уровню деструкции мазута в течение такого же периода с внесением 5% «Унисорб-Био» без удобрения (рис. 1).

Следует отметить, что концентрации удобрения выше и ниже 0.2% (в вариантах 2 и 4) оказались менее эффективны – ниже, чем в 3 варианте на 5.5 и 7.6% соответственно.

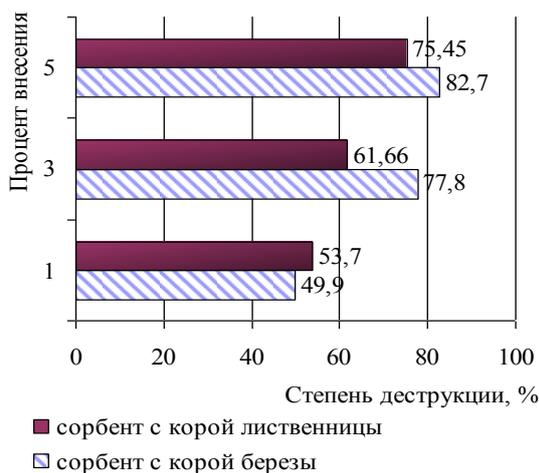


Рис. 1. Деструкции мазута сорбентами разной модификации за 100 суток

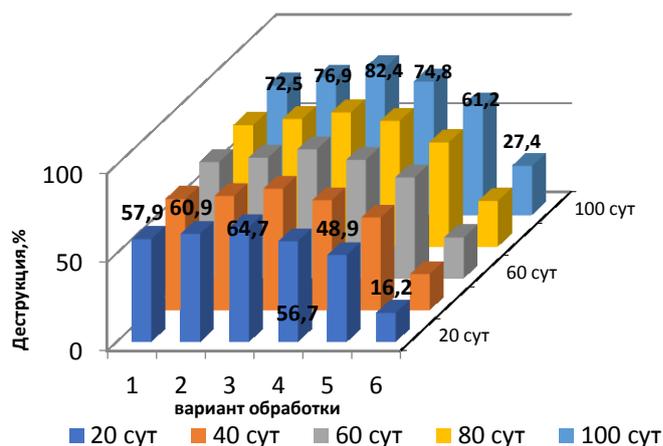


Рис. 2. Динамика деструкции мазута в почвенных модельных экспериментах: 1 – «Унисорб-Био»; 2 – «Унисорб-Био» и диаммофоска – 0.1%; 3 – «Унисорб-Био» и диаммофоска – 0.2%; 4 – «Унисорб-Био» и диаммофоска – 0.3%; 5 – «Унисорб» и диаммофоска – 0.2%; 6 – Контроль

В варианте 1, с внесением только «Унисорб-Био» без удобрения, деструкции мазута за 20 суток составила 57.9%, что ниже, чем в варианте 3, на 7%. Причем отставание нарастает с увеличением продолжительности экспонирования и достигает 10% к моменту окончания опыта, что связано, вероятно, как это было отмечено ранее, с лимитированием процесса по азоту и фосфору.

В варианте 5, «Унисорб» без микрофлоры, деструкцию обеспечили микроорганизмы нестерильной почвы, активированные внесенным сорбентом и диаммофоской. Это согласуется с данными [24], где показано, что аборигенные штаммы, выделенные из нефтесзагрязненных почв способны эффективно разлагать полиароматические углеводороды.

Следует отметить, что наблюдаемое в этом случае, по сравнению с вариантом 3, отставание в деструкции мазута на начальном этапе составило 15.8%, а на момент окончания экспонирования составило 21.2%. Сравнение результатов варианта 5 с результатами варианта 1, показывает иммобилизованный штамм *Streptomyces exfoliatus* эффективнее активированной аборигенной микрофлоры на 10–11%. Эта разница сохраняется на протяжении всего периода экспонирования. Полученные результаты дают основание утверждать, что внесенная с сорбентом специализированная по субстрату и активированная микрофлора актиномицета вносит существенный вклад в ферментативную деструкцию УВ и обеспечивает более глубокую степень разложения компонентов мазута.

В контроле деструкции мазута оказалась на сравнительно низком уровне – 27.4%, некоторое снижение содержания мазута в этом случае можно объяснить воздействием аборигенной микрофлоры, так как для исследований брали нестерильную почву, а ее периодическое перемешивание и увлажнение, по-видимому, оказали активирующее воздействие на нефтеокисляющую микрофлору почвы, приведшее к снижению содержания мазута в почве.

Даже если эту цифру (27.4%) принять за фоновую, то только прямой вклад «Унисорб-Био» в деградацию мазута составляет за 100 суток – 45.1%; «Унисорб-Био» с 0.2% диаммофоски – 55%; «Унисорб» без иммобилизованной микрофлоры – 33.8%.

Об эффективности процесса деструкции мазута можно судить и по результатам фитоконтроля. Так, посев кресс-салата на почвах после завершения эксперимента показал, что в схожесть семян составляет 50–60%, что позволяет утверждать, что остаточные концентрации мазута относительно безвредны для корневой системы растений и завершение процесса биоремедиации может быть проведено посредством выращивания специальных видов растений, устойчивых к остаточным концентрациям загрязнителя.

В целом результат подтверждает эффективность применяемого метода в ускорении процессов биоремедиации, но в перспективе требует доработки в направлении создания смешанных ассоциаций УВОМ.

Выводы

1. Полученные результаты показали, что полимерный модифицированный корой сорбент «Унисорб-Био» с иммобилизованным штаммом *Streptomyces exfoliatus*. в течение 100 суток способен снизить содержание мазута в почве более чем на 80% при внесении его в количестве 5% от а.с.м. замазученной почвы.

2. Дополнительное внесение в почву диаммофоски в количестве 0.2% от а.с.м. способствует активации как внесенной с «Унисорб-Био», так и аборигенной микрофлоры, что позволяет сократить количество вносимого «Унисорб-Био» до 3%.

3. Апробированный в эксперименте комбинированный метод позволяет эффективно разлагать мазут за короткий период до концентраций, позволяющих переходить к другим видам рекультивации почв, в том числе агротехническим мероприятиям, что подтверждено результатами фитоконтроля с использованием в качестве тест-культуры кресс-салата.

Список литературы

1. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М., 1988. 254 с.
2. Деградация и охрана почв / под ред. Г.В. Добровольского. М., 2002. 654 с.
3. Зволинский В.П., Батовская Е.К., Черных Н.А. Влияние нефти и нефтепродуктов на свойства почв и почвенные микроорганизмы // Агробиохимический вестник. 2005. №2. С. 22–25.
4. Коршунова Т.Ю., Четвериков С.П., Бакаева М.Д., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Четверикова Д.В., Логинов О.Н. Микроорганизмы в ликвидации последствий нефтяного загрязнения (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология, 2019. Т. 55. №4. С. 338–349. DOI: 10.1134/S0555109919040093.

5. Логинов О.Н., Силищев Н.Н., Бойко Т.Ф., Галимзянова Н.Ф. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений. Уфа, 2000. 100 с.
6. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. М., 2002. С. 30.
7. Дядечко В.Н. О биологической рекультивации нефтезагрязненных лесных почв Среднего Приобья // Почвоведение. 1990. №9. С. 148–154.
8. Исмаилов Н.И., Пиковский Ю.И. Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М., 1988. С. 222–236.
9. Коронелли Т.В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводородов в окружающей среде // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32. №6. С. 579–585.
10. Федорова О.С., Рязанова Т.В., Кириенко И.А. Эффективность деструкции нефтепродуктов иммобилизованной микрофлорой при разных уровнях загрязнения почвы // Вестник КрасГАУ. 2009. №5. С. 81–85.
11. Ryzanova T.V., Fedorova O.S., Loskutov S.R. Destruction of oil by immobilized microflora // J. Sib. Fed. Univ. Chem. 2018. Vol. 11(2). Pp. 184–196. DOI: 10.17516/1998-2836-0067.
12. Петров А.А. Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. 260 с.
13. Туманян А.Ф., Батовская Е.К. Влияние нефтяного загрязнения на состояние почв // Технология нефти и газа. 2009. №6 (65). С. 8–12.
14. Современная микробиология. Прокариоты: в 2 томах / под ред. Й. Ленгелера, Г. Дривса, Г. Шлегеля. М., 2005. Т. 1. 656 с.
15. Чуков С.Н., Лодыгин Е.Д., Габов Д.Н., Безносиков В.А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Санкт Петербурга // Вестник СПбГУ. 2006. №1. С. 119–129.
16. Равинский Ф.Я., Афанасьев М.И., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Полициклические ароматические углеводороды в природных средах фоновых районов // Мониторинг фоновое загрязнение природных сред. 1990. Вып. 6. С. 3–14.
17. Тихонова Т.А. Ферментативная деградация мазута модифицированным биосорбентом в модельных опытах на почве // Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых по итогам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Красноярск, 2012. Т. 1. 286 с.
18. Волченко Н.Н., Карасёва Э.В. Скрининг углеводородокисляющих бактерий – продуцентов поверхностно-активных // Биотехнология. 2006. №2. С. 45–60.
19. Волченко Т.И., Карасёва Э.В. Скрининг углеводородокисляющих бактерий – продуцентов поверхностно-активных веществ биологической природы и их применение в опыте по ремедиации нефтезагрязненной почвы и нефтешлама // Биотехнология. 2008. №6. С. 57–62.
20. Гафаров А.Б. Деградация нефтешламов аборигенными и продуцированными микроорганизмами // Биотехнология. 2008. №6. С. 80–85.
21. Назаров А.В., Иларионов С.А. Потенциал использования микробно-растительного взаимодействия для биоремедиации // Биотехнология. 2007. №3. С. 56–64.
22. Рязанова Т.В., Федорова О.С., Марченко Р.А., Шуркина В.И. Модификация нефтесорбентов материалами растительного происхождения // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья. Барнаул, 2017. С. 327–329.
23. ПНД Ф 16.1.41-04. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом.
24. Беловежец Л.А., Макарова Л.Е., Третьякова М.С., Маркова Ю.А., Дударева Л.В. Возможные пути деструкции полиароматических углеводородов нефти некоторыми видами бактерий-нефтедеструкторов, выделенными из эндо- и ризосферы растений // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53. №1. С. 76–81.

Поступила в редакцию 11 октября 2020 г.

Принята к публикации 25 ноября 2020 г.

Для цитирования: Рязанова Т.В., Федорова О.С. Влияние модифицированной древесной корой «Унисорб-био» на восстановление загрязненных мазутом почв // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 435–442. DOI: 10.14258/jcrpm.2020048670.

Ryazanova T.V., Fedorova O.S.* INFLUENCE OF THE MODIFIED WOOD BARK "UNISORB-BIO" ON THE RESTORATION OF SOILS CONTAMINATED WITH OIL

Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: oc-57@mail.ru

The article examines the effect of the "Unisorb-Bio" carbamide sorbent modified with wood bark on the biodegradation of fuel oil using the example of artificially contaminated soil.

It is shown that for 100 days of exposure "Unisorb-Bio" and actinomycetes immobilized on it (*Streptomyces exfoliatus* strain) are able to effectively decompose fuel oil. The maximum value of the degree of destruction of fuel oil was 82.7% in soil samples with a sorbent modified with birch bark. In the samples with larch bark, this figure is 7.3% lower. The degree of destruction of fuel oil in the control soil sample (soil with fuel oil) for the entire exposure period was – 27.4%. If this figure is taken as the background, then only the direct contribution to the degradation of fuel oil biosorbent is 45.1%; biosorbent with 0.2% diamofoska – 55%; sorbent without microorganisms – 33.8%.

The results showed that the used carbamide sorbent with immobilized and native microflora is capable of effectively decomposing fuel oil to concentrations that allow the transition to agrotechnical measures. Thus, sowing watercress on soils after the end of the experiment showed that seed germination is 50–60%, which suggests that residual concentrations of fuel oil are relatively harmless to the root system of plants and the completion of the bioremediation process can be carried out by growing plants that are resistant to residual concentrations of pollutants.

In general, the result confirms the effectiveness of the applied method in accelerating bioremediation processes, but further development is required in the direction of creating mixed associations of UVOM.

Keywords: soil, fuel oil pollution, biological product "Unisorb-Bio", actinomycetes, bioremediation.

References

1. *Vosstanovleniye neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem*. [Restoration of oil-contaminated soil ecosystems]. Moscow, 1988, 254 p. (in Russ.).
2. *Degradatsiya i okhrana pochv* [Degradation and protection of soils], ed. G.V. Dobrovolsky. Moscow, 2002, 654 p. (in Russ.).
3. Zvolinskiy V.P., Batovskaya Ye.K., Chernykh N.A. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2005, no. 2, pp. 22–25. (in Russ.).
4. Korshunova T.Yu., Chetverikov S.P., Bakayeva M.D., Kuzina Ye.V., Rafikova G.F., Chetverikova D.V., Loginov O.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 338–349. DOI: 10.1134/S0555109919040093 (in Russ.).
5. Loginov O.N., Silishchev N.N., Boyko T.F., Galimzyanova N.F. *Biotekhnologicheskiye metody ochistki okruzhayushchey sredy ot tekhnogennykh zagryazneniy*. [Biotechnological methods of cleaning the environment from technogenic pollution]. Ufa, 2000, 100 p. (in Russ.).
6. Abrosimov A.A. *Ekologiya pererabotki uglevodorodnykh sistem*. [Ecology of processing of hydrocarbon systems]. Moscow, 2002, p. 30. (in Russ.).
7. Dyadchko V.N. *Pochvovedeniye*, 1990, no. 9, pp. 148–154. (in Russ.).
8. Ismaylov N.I., Pikovskiy Yu.I. *Vosstanovleniye neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem*. [Restoration of oil-contaminated soil ecosystems]. Moscow, 1988, pp. 222–236. (in Russ.).
9. Koronelli T.V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1996, vol. 32, no. 6, pp. 579–585. (in Russ.).
10. Fedorova O.S., Ryazanova T.V., Kiriyyenko I.A. *Vestnik KrasGAU*, 2009, no. 5, pp. 81–85. (in Russ.).
11. Ryazanova T.V., Fedorova O.S., Loskutov S.R. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.*, 2018, vol. 11(2), pp. 184–196. DOI: 10.17516/1998-2836-0067.
12. Petrov A.A. *Uglevodorody nefii*. [Petroleum hydrocarbons]. Moscow, 1984, 260 p. (in Russ.).
13. Tumanyan A.F., Batovskaya Ye.K. *Tekhnologiya nefii i gaza*, 2009, no. 6 (65), pp. 8–12. (in Russ.).
14. *Sovremennaya mikrobiologiya. Prokarioty: V 2-kh tomakh* [Modern microbiology. Prokaryotes: In 2 volumes], ed. Y. Lengelera, G. Drevsya, G. Shlegelya. Moscow, 2005, vol. 1, 656 p. (in Russ.).
15. Chukov S.N., Lodygin Ye.D., Gabov D.N., Beznosikov V.A. *Vestnik SPbGU*, 2006, no. 1, pp. 119–129. (in Russ.).
16. Ravinskiy F.YA., Afanas'yev M.I., Teplitskaya T.A., Alekseyeva T.A. *Monitoring fonovogo zagryazneniya prirodnykh sred*, 1990, no. 6, pp. 3–14. (in Russ.).
17. Tikhonova T.A. *Sbornik statey studentov, aspirantov i molodykh uchenykh po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem)*. [Collection of articles by students, graduate students and young scientists following the results of the All-Russian scientific-practical conference (with international participation)]. Krasnoyarsk, 2012, vol. 1, 286 p. (in Russ.).
18. Volchenko N.N., Karasova E.V. *Biotekhnologiya*, 2006, no.2, pp. 45–60. (in Russ.).
19. Volchenko T.I. Karasova E.V. *Biotekhnologiya*, 2008, no. 6, pp. 57–62. (in Russ.).
20. Gafarov A.B. *Biotekhnologiya*, 2008, no. 6, pp. 80–85. (in Russ.).
21. Nazarov A.V., Ilarionov S.A. *Biotekhnologiya*, 2007, no. 3, pp. 56–64. (in Russ.).
22. Ryazanova T.V., Fedorova O.S., Marchenko R.A., Shurkina V.I. *Novyye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya*. [New achievements in the chemistry and chemical technology of plant raw materials]. Barnaul, 2017, pp. 327–329. (in Russ.).

* Corresponding author.

23. PND F 16.1.41-04. *Kolichestvennyy khimicheskiy analiz pochv. Metodika vpolneniya iz-mereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v probakh pochv gravimetricheskim metodom.* [PND F 16.1.41-04. Quantitative chemical analysis of soils. Methods of measuring the mass concentration of oil products in soil samples by the gravimetric method]. (in Russ.).
24. Belovezhets L.A., Makarova L.Ye., Tret'yakova M.S., Markova Yu.A., Dudareva L.V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2017, vol. 53, no. 1, pp. 76–81. (in Russ.).

Received October 11, 2020

Accepted November 25, 2020

For citing: Ryazanova T.V., Fedorova O.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 435–442. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020048670.