

УДК 614.777: 628.557.1.550.7

С. А. АЙТКЕЛЬДИЕВА, Ж. А. ТЛЕУЛИНА

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

(Представлена академиком НАН РКМ. Х. Саятовым)

Предлагаемый обзор освещает вопросы биоремедиации нефтезагрязненных почв

На современном уровне развития нефтедобывающей промышленности не представляется возможным исключить ее воздействие на окружающую среду. Загрязнение природной среды нефтью и нефтепродуктами приводит к значительному экономическому и экологическому ущербу.

Экологическая проблема стоит остро и в Западном Казахстане, который является центром развития нефтяной и нефтехимической отрасли Казахстана. Масштабные разработки и добыча углеводородного сырья ведутся на суше в Атырауской, Мангыстауской, Западно-Казахстанской

и Актюбинской областях. Из-за того, что данные территории в основном относятся к степным, полупустынным и пустынным зонам с резко континентальными подгорно-климатическими условиями, экосистемы этих областей характеризуются высокой уязвимостью и низким потенциалом самовосстановления [1].

Выделяют три этапа процесса самоочищения почвы от нефтяных углеводородов. Первый этап длится в среднем 1,5 года. Здесь преобладают физико-химические процессы, включающие проникновение нефти вглубь почвы, испарение легких фракций, вымывание, окисление атмосферным кислородом и фотохимическое разложение нефтяных углеводородов. Концентрация нефти в почве за этот период снижается на 40–50%. Второй этап происходит в течение 3–4 лет после окончания первого. Здесь разложение нефти происходит под воздействием почвенных углеводородоокисляющих микроорганизмов, численность которых при этом увеличивается в 25 раз. Происходит разрушение метано-нафтенных фракций, являющихся самыми токсичными компонентами нефти для растений и почвенных животных. Третий этап начинается через 4,5–5 лет после разлива нефти и длится до ее полного разрушения. Этот этап характеризуется микробиологическим разложением остальной, менее токсичной части углеводородов и смолисто-асфальтеновых компонентов, которые образуют на загрязненной поверхности так называемые кыры, сплошные жесткие корочки. Фактически, уже в самом начале этого этапа возможно возобновление некоторых видов растений, устойчивых к повышенному содержанию нефти в грунте. Однако их появлению препятствуют кыры, которые не позволяют воздуху проникать в корнеобитаемый слой, вызывая своеобразное удушье растений и почвенных животных. С химической точки зрения процесс естественного разрушения нефти полностью заканчивается не менее чем через 25 лет, однако токсические свойства нефти исчезают уже через 10–12 лет, продукты ее разложения частично включаются в почвенный гумус, частично растворяются и удаляются из почвенного профиля [2].

Известны биологические и физико-механические методы, которые используются для очистки почв от нефтепродуктов. В биологические методы входят агротехнический, биоремедиация,

компостирование, биовентиляция. Восстановление нефтепродуктов, термодесорбция, сжигание, промывание почвы, удаление, закачивание в глубокие горизонты, литификация/отверждение относятся к физико-механическим методам. Любой метод имеет свои особенности, так биологические методы очистки характеризуются: длительным сроком очистки: от одного до двенадцати месяцев; возможно достижение снижения загрязнения до 80%; конечными продуктами разложения являются CO_2 и вода; меньшими затратами по сравнению с другими методами очистки. Применение данных методов ограничено состоянием почвы и концентрацией нефтепродуктов; необходимостью постоянного мониторинга и лабораторного тестирования во время очистки для подтверждения продолжения процесса биодegradации. Существующие в мировой практике технологии выделения нефтяных компонентов из почвы и нефтешламов – стационарное газофазное удаление, экстракция и физическая адсорбция, пиролиз, сжигание и некоторые другие методы малоэффективны как в экономическом, так и в экологическом плане.

Биоремедиация является известным биологическим методом очистки почвы от нефтяного загрязнения. С прогрессом в биотехнологии, одним из наиболее быстро развивающихся направлений становится восстановление окружающей среды, предусматривающее использование микроорганизмов которые способствуют снижению концентрации и токсичности различных химических загрязнителей, в том числе углеводородов нефти [3].

Ускорить очистку почв от нефтяных загрязнений с помощью микроорганизмов возможно в основном двумя способами. Первым способом является активизация метаболической активности естественной микрофлоры почв путем изменения соответствующих физико-химических условий среды. Второй способ включает внесение активных нефтеокисляющих микроорганизмов, специально выделенных из естественной микрофлоры, в загрязненную почву [4].

При снижении концентрации остаточных нефтепродуктов в рекультивационном слое в среднем по всему участку до значений безопасных для фитомелиорантов (15% в органогенных и 8% в минеральных и смешанных грунтах) можно приступать к биологическому этапу рекультивации. Этот этап включает в себя комплекс

агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, проводимых с целью восстановления плодородия нарушенных земель, фитомелиорационное и агротехническое стимулирование почвенной углеводородокисляющей микрофлоры, формирование устойчивых травостоев или всходов (подроста) древесных пород.

Посев в загрязненную нефтью почву трав с разветвленной корневой системой способствует ускорению разложения углеводов. Положительное воздействие сельскохозяйственных растений, в частности многолетних трав, объясняется тем, что их развитая корневая система способствует улучшению газовой среды загрязненной почвы, обогащает почву азотом и биологически активными соединениями. Все это стимулирует рост микроорганизмов и ускоряет разложение нефти и нефтепродуктов. Также следует учитывать способность самих растений разлагать различные нефтяные углеводороды.

Рекультивацию можно считать завершённой после создания густого и устойчивого травостоя, при этом концентрация остаточных нефтепродуктов со значениями коэффициента окисления нефти более 90% не должна превышать в среднем по участку 8,0% в органических и 1,5% в минеральных и смешанных грунтах.

Преимущества биоремедиации заключаются в снижении содержания нефти и нефтепродуктов в воде и почве в 10–70 раз за сезон. Применение микробов-деструкторов, выделенных из естественного микробиоценоза, исключает непредсказуемые экологические последствия, возможные при использовании посторонних видов микроорганизмов, также комплекс выделенных штаммов микробов-деструкторов обеспечивает полную минерализацию нефти и нефтепродуктов до углекислого газа и воды. Возможность использования этого метода для ликвидации загорелости нефтью и нефтепродуктами (бензин, керосин, дизтопливо и др.) во всех регионах. Технология позволяет в каждом конкретном случае разработать комплекс агротехнических мероприятий направленных на оптимизацию деятельности выделенной из аборигенной микрофлоры культуры микробов-деструкторов. Все компоненты вносятся в почву одновременно. Концентрированный биологический препарат имеет низкую стоимость. Биоремедиация является безопасной для жизнедеятельности человека.

Этот метод имеет и свои недостатки. Общая длительность процесса рекультивации зависит от почвенно-климатических условий и характера загрязнения. Стимуляция почвенной микрофлоры должна начинаться только при снижении концентрации общего нефтепродукта до 23–25% в органических или 15–18% минеральных почвенных горизонтах в среднем по участку. Для большинства микроорганизмов интенсивный рост и жизнедеятельность на почвах, загрязненных углеводородами нефти, зависит от значения pH. Дополнительно применяется известкование или гипсование для снижения кислотности или щелочности почвы, так как наиболее оптимальными для большинства микроорганизмов являются значения pH близкие к нейтральным. В аридных условиях необходимо дополнительное орошение.

Изыскание и выделение микроорганизмов, обладающих углеводородокисляющей активностью, позволило создать препараты для очистки почв и воды от нефтяных загрязнений. В настоящее время для очистки почв от сырой нефти применяются микробные препараты, окисляющие в основном парафиновые углеводороды нефти. В то же время недостаточно разрабатываются вопросы очистки почв и воды от трудно-разлагаемых нефтепродуктов, например, мазута, смазочных масел и др.

Микроорганизмы, использующие углеводороды, широко распространены в природе. Обнаружена способность к биодegradации различных нефтяных углеводородов у более 20 родов бактерий, 19 родов дрожжей и 24 рода микроскопических грибов [5]. На их основе выпускаются биопрепараты, которые используются для биоремедиации нефтезагрязненных почв.

Информационный анализ показывает большой выбор коммерческих предложений по использованию различных биопрепаратов. Бактериальные препараты, рекомендуемые и применяемые для биоремедиации, могут включать монокультуры или специальные сочетания микроорганизмов [6]. В мировой практике успешно используют приёмы микробной очистки нефтезагрязнённой поверхности. Это такие известные фирмы, как “Оксидентал кемикл” (США), “Бейстритент” (Англия), “Биодетокс” (Германия) и др. Только за последние десять лет в странах СНГ создано более двух десятков биопрепаратов на основе нефтеокисляющих микроорганизмов. Основной

вклад в разработку в этой области принадлежит ученым России.

На Украине наиболее известными являются препараты: «Десна» – (разработка Украинского исследовательского центра экологии нефти и газа, г. Киев), Консорциум микроорганизмов – (Институт высоких технологий, г. Киев), «Деворойл» [7], который производится по российской лицензии ОАО «Фермент», (г. Ладыжин) и недавно рекомендованный Минэкологией «Simbinal» (разработка Института Ботаники НАН Украины). В России широко применяются «Путидойл» [8, 9], «Деворойл» [7], «Валентис» [10], «Нафтокс» [6] и др., в Белоруссии – «Родобель-Т» [11].

Известна серия препаратов «Псевдомин» [12], «Нафтокс» [6], очищающие почву от ароматических и парафиновых соединений. Биопрепараты «Экоил» [13], «Лестан» [14] являются препаратами широкого спектра действия. Существуют и другие биопрепараты различного спектра действия, такие как «Путидойл» [8, 9], «Биодеструктор» [10], «Родер» [15], «Авалон» [16], «Биосэт» [17] и др., предназначенные для очистки нефтезагрязненных районов. Однако при интродукции новых видов микроорганизмов необходимо учитывать природные условия почвообразования и типы почв, оказывающие определенное влияние на жизнедеятельность микробной флоры.

Изучена микробиологическая деструкция мазута в почве при использовании биопрепарата «деворойл». Препарат «деворойл» представляет собой тщательно подобранное сообщество углеводородоокисляющих бактерий и дрожжей (р *Rhodococcus*, *Pseudomonas* и *Candida*), успешно работающих в различных естественных и антропогенных экосистемах. Присутствие мелиорантов, особенно опилок, создавало благоприятные условия для окисления мазута микроорганизмами биопрепарата. Внесение микроорганизмов биопрепарата в виде флокул на фоне мелиоранта способствовало поддержанию высокого уровня численности углеводородоокисляющих микроорганизмов в течение эксперимента, повышало степень деструкции мазута в почве, а также в наибольшей степени понижало фитотоксичность почвы. Препарат разработан совместно с институтом микробиологии АН России. Он универсален для всех видов нефтей и нефтепродуктов [7].

Микрозимтм «Петро трит» и Микрозимтм «Сойл трит» – это концентрированные биопре-

параты, содержащие двенадцать штаммов углеводородоокисляющих микроорганизмов, выделенных из почвенного микробиоценоза и подвергнутых адаптивной селекцией, ферментный комплекс, биогенные элементы и питательную основу. В процессе жизнедеятельности микроорганизмы активно синтезируют собственные ферменты и биологические поверхностно-активные вещества, ускоряющие разложение нефти. Биопрепарат «Петро трит» применяется для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов, мазута, солярки, бензина, моторных масел. «Сойл трит» очищает почву и воду от полихлоринированных бифенилов (ПХБ) – трансформаторного масла, совтола, автола. Биопрепараты применяются для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов, восстановления плодородия нефтезагрязненной почвы, рекультивации территорий нефтедобычи, утилизации и обезвреживания нефтеотходов [18].

Композиция биопрепарата «Родер» состоит из R-диссоциантов *Rhodococcus ruber* ВКМ Ас-1513 и *Rhodococcus erythopolis* ВКМ Ас-1514Д, выращенных на средах с высоким содержанием морской соли и минеральных компонентов. Препарат эффективен в различных почвенных грунтах, пресной и морской воде [15].

«Эконадин» – бактериальный препарат нового поколения на основе авирулентных нефтеокисляющих бактерий, проявляет сорбционную и деструктивную активность по отношению к углеводородам нефти [19].

Кафедра биологии СурГУ предложила биопрепарат «Нафтокс» для восстановления нарушенных нефтью земель [6].

Биопрепараты серии «Биодеструктор» предназначены для ликвидации загрязнения нефтью, нефтепродуктами, конденсатом и другими органическими соединениями различных объектов окружающей среды. Биопрепараты «Аллегро», «Торнадо», «Гера» разлагают сырую нефть, бензин, дизельное топливо, тяжелые парафины, ароматические углеводороды, фенолы, спирты, растительные масла, животные жиры, гептил, пестициды и диоксины. Биологические препараты «Валентис», «Лидер», «МАГ» утилизируют сырую нефть, мазут, машинное и моторное масла, бензин, гептил, диоксины, пестициды, растительные масла, животные жиры и спирты [10].

ГосНИИГенетика предлагает бактериальный препарат «Руден», созданный на основе бактерий

Rhodococcus sp.HX7, эффективно разрушающих нефть и нефтепродукты в широком интервале температур от 5 до 30°C, значений pH 4,5–10, содержании солей до 30 г/л и нефти до 20% [20].

ОАО «Биохиммаш», АНО НТО «ИТИН» и МГУ им. М. В. Ломоносова разработали препарат «Родарт», который применяется для деградации углеводов с целью микробиологической очистки грунтов и водной поверхности от загрязнения сырой нефтью и нефтепродуктами. Препарат работает на уровне загрязнения нефтью и нефтепродуктами до 20% вес. По своим показателям (степени деструкции при высоком 20%-ном уровне загрязненности почв и акваторий, способности разрушать тяжелые и легкие фракции углеводов, скорости биодegradации, действию в широком диапазоне температур) препарат не имеет аналогов и конкурирует с лучшими зарубежными препаратами [21].

В лабораторных и полевых условиях проведены испытания биопрепарата «Лестан» для очистки нефтезагрязненной почвы. Биопрепарат, состоящий из микробного компонента – деструктора углеводов, поверхностно-активного вещества биологического происхождения и носителя, характеризовался высокой устойчивостью к изменениям условий внешней среды и экстремальным температурам. Показана возможность использования «Лестана» в виде пены и порошка [14].

Для очистки территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, предлагается использовать препарат «Экойл», созданный на основе бактериальных штаммов *Micobacterium flavescens EX-91*, *Pseudomonas putida-9*, *Acinetobacter sp. НБ-1* [13].

С препаратом «Путидойл» (продуцент – штамм *Pseudomonas putida-36*) проведены эксперименты по деградации нефтепродуктов. Данные экспериментов показали, что содержание нефтепродуктов в сбросных водах снижается в 30–100 раз. Препарат активен только в кислой среде и погибает в анаэробных условиях [8]. Кроме того, при использовании препарата значительно повышается аэрация воды, что, в свою очередь, ускоряет процессы естественного самоочищения морской воды от нефтепродуктов в районах сброса балластных вод в море. Кроме того, изучалась возможность применения препарата «Путидойл» на замасленных лесных почвах Среднего Приобья [9].

Биопрепарат «Родотрин» состоит из активных нефтеокисляющих штаммов деструкторов *Rhodococcus erythropolis ФС-1339Д* и биодобавок. Препарат прошел испытания на территории Альметьевского районного нефтепроводного управления «Северо-Западные магистральные нефтепроводы» в Татарстане. Начальное содержание нефти и нефтепродуктов на этих участках составило 3,9–5,3%. После обработки загрязненных участков биопрепаратом через 30 дней количество нефти уменьшилось с 3,935 г/100 г грунта до 1,274 г/100 г грунта. В результате степень деструкции была наивысшей и составила 79,7% [22].

Для ремедиации загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв предлагается препарат «Noggies» [23], представляющий собой смешанные культуры специальных штаммов микроорганизмов. Он разлагает в почве мазут, дизельное топливо, бензин, керосин, различные фенолы и формальдегиды Биопрепарат вносится в виде пены, которая служит для доставки микроорганизмов к загрязненным нефтепродуктами поверхностям и одновременно является источником питательных веществ и кислорода для бактерий.

С.Р. Staff [24] предлагает использовать для очистки нефтезагрязненной почвы препарат «Hydrobac», представляющий смесь штаммов бактерий, адаптированных к разрушению ряда углеводов. Препарат вносили в загрязненную почву с поверхностно-активными веществами. Через 35 дней содержание нефти в почве снизилось на 66%, и к концу второго месяца после обработки она была пригодна для посева сельскохозяйственных растений.

Л. В. Пономарева с соавторами [17] предлагают использовать для биоремедиации нефтезагрязненных почв препарат «БИОСЭТ» и пероксид кальция. Биопрепарат представляет собой микробную ассоциацию, включающую три вида аэробных микроорганизмов, два из которых представители рода *Arthrobacter* и один *Micrococcus varians*. Использование пероксида кальция – оксигенатора пролонгированного действия вместе с препаратом существенно повышало биодеструкцию нефтяных углеводов. Степень очистки поверхностного слоя составила 88,6% за 81 сутки.

Широко известен биопрепарат «Авалон» [16], который представляет собой штаммы микроорганизмов-деструкторов, иммобилизованных на

пористом носителе, состоящий из вспененного стеклообразного метафосфата переменного состава.

Предложен биореагент для очистки нефтезагрязненных почв, который включает в себя культуру *Pseudomonas putida* и биогенное питание, содержащее азот в аммонийной форме и фосфор, иммобилизованное на гидрофобизированном торфе. Носитель бактериальных клеток является адсорбентом, за счет этого происходит разрушение нефтяной пленки и увеличение доступа воздуха, что активизирует процесс биологического разрушения нефтепродуктов [25].

Известен биопрепарат, который разработан Всероссийским нефтяным институтом и предназначен для очистки объектов окружающей среды от нефти и нефтепродуктов. В состав композиции входит консорциум бактериальных штаммов *Pseudomonas putida* ПИ Ко – 1, *Pseudomonas fluorescens* ПИ Ку – 1 и наполнитель. Некоторые авторы считают целесообразным включать в состав препарата поверхностно-активные вещества, оказывающие эмульгирующее действие на углеводороды, что способствует их биологической деструкции [26, 27].

Препарат «Леноил», состоящий из четырех штаммов бактерий, обладает деструктивной и биоэмульгирующей активностями, психрофильностью к химическим загрязнителям. Разработана жидкая форма биологического препарата, содержащая стабилизаторы и консерванты, способствующие сохранению жизнеспособности и нефтеокисляющей активности клеток при длительном хранении. Результаты полевого эксперимента показали, что применение препарата заметно ускоряли процесс биодеградации нефти и ее отдельных фракций, особенно при использовании минеральных и органических удобрений [28].

«Родобель-Т» - комплексный биосорбционный препарат, в котором торфяные сорбенты использовали в качестве носителя высокоэффективных штаммов микроорганизмов-деструкторов нефти и дизельного топлива рода *Rhodococcus*. Использование препарата обеспечивает разрушение нефти и дизтоплива на 90% уже через два месяца после внесения в почву [11].

Выявлено, что при биоремедиации нефтезагрязненных почв (Сургутский район, Тюменская обл.) с использованием биопрепарата «Псевдомин» на основе одного из выделенных штаммов (*Pseudomonas putida* st, 91-96) в течение 2,5 ме-

сяцев происходит почти полное разложение нефтепродуктов. При совместном использовании с ним минеральных удобрений эффективность достигает 98,1% [12].

Создана коллекция из 20 метаболически активных бактериальных штаммов, выделенных из толщи нефтешлама объединения «Нижекамскнефтехим» и способных метаболизировать нефтяные компоненты, в том числе полициклические ароматические углеводороды. Эти штаммы могут быть использованы и уже используются для интенсификации ремедиации объектов. Сукцессия микробного сообщества в процессе компостирования нефтешлама характеризовалась увеличением органотрофной части микробиоценоза в первые месяцы компостирования, свидетельствующие о биодоступности, отражающем биоразлагаемость нефтяного загрязнения. В результате ремедиации микробиоценоз компостов нефтешлама приобрел свойства устойчивого сообщества на поздней стадии сукцессии. Компостирование в пилотно-полевых условиях выявило его высокую эффективность для обезвреживания экологически опасных нефтехимических отходов [29].

В Казахстане разработана композиция в основу, которой вошли природные штаммы *Pseudomonas putida* ГНПО ПЭ-Р-6, *Pseudomonas fluorescens* ГНПО ПЭ-Р-5, *Bacillus subtilis* ГНПО ПЭ-Р-7 и комплекс минерального удобрения - дигидрофосфат аммония и гидрофторид калия [30]. Данная композиция предназначена для биохимической очистки нефтезагрязненных почв. Исследования проводились в условиях опытного производства ГНПО «Казмеханообр». В результате наблюдалось полное и быстрое 100% разрушение углеводородов нефти и нефтепродуктов.

В Южно Казахстанском государственном университете имени М. Ауэзова микробиологи разработали биопрепарат «Перойл», состоящий из культур *Micrococcus luteus* Б1 Ag8G и *Rhodococcus erythropolis* ДП 304 Б-7, деградирующий моноциклоароматические, бициклоароматические соединения, толуольные смолы и асфальтены. Эффективность биопрепарата для очистки почв аридных регионов от нефти и нефтепродуктов составляет 96,5%. [31].

В настоящее время применяется технология, основанная на обогащении образцов загрязненной воды или почвы в лабораторных

или промышленных условиях (в биореакторах или ферментерах) аборигенными углеводородо-кисляющими микроорганизмами и индукции их ферментативных систем, катализирующих деградацию углеводородов нефти [32]. После предварительной обработки образцы являются, по сути, биопрепаратами – источниками активной нефтеокисляющей микрофлоры, которые вносятся в загрязненный участок одновременно с необходимыми добавками, повышающими эффективность утилизации загрязнителя. Этот прием основан на том, что в любой почве существуют микроорганизмы, способные метаболизировать углеводороды нефти [33, 34]. Однако их развитие в естественной среде могут препятствовать ряд неблагоприятных факторов: низкая температура, недостаток кислорода и биогенных элементов, избыточная кислотность и т.д. Реализовать принцип создания оптимальных условий для развития природной нефтеокисляющей микрофлоры, в ряде случаев проще, в лабораторных или промышленных биореакторах. Преимуществом активации аборигенной микрофлоры является также то, что вносимая в почву микробная биомасса не будет чужеродной для данного биоценоза.

Таким образом, показано, что для ускорения очистки от нефтепродуктов может быть использован приготовленный биопрепарат, представляющий собой обогащенную культуру аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов из очищаемого участка. При этом жидкий биопрепарат в виде почвенной суспензии позволяет получить более высокий титр углеводородокисляющих микроорганизмов. Такой способ может иметь большие перспективы для практического использования, он достаточно экономичен, легко осуществим для очистки объектов даже большого масштаба. Экологическая безопасность этого приема также очевидна, поскольку не происходит интродукции чужеродных микроорганизмов [35].

Полевые испытания различных препаратов по очистке почв от нефтяного загрязнения показали, что для увеличения скорости деструкции необходимо использовать мелиоранты. Закрепление микробных клеток и предотвращение вымывания, интродуцированных ассоциаций в загрязненном почвенном слое проводится путем адсорбции на почвенных частицах или частицах мелиоранта (опилки, растительная шелуха, цеолит и др.).

Биоремедиация обладает большими потенциальными возможностями для предотвращения загрязнения окружающей среды и для борьбы с уже имеющимся загрязнением. По сравнению с другими методами очистки окружающей среды от загрязнения, биоремедиация *in situ* гораздо дешевле [36]. В отличие от промышленной биотехнологии, где имеется возможность выдерживать все параметры технологического процесса, биоремедиация, как правило, осуществляется, в буквальном смысле этого слова, в открытой системе, т.е. в окружающей среде. Поэтому в гораздо большей степени успех процесса биоремедиации зависит от критической массы знаний, опыта, методов и, наконец, разнообразия микроорганизмов, способных осуществлять реакции биодegradации. В известной мере это всегда будет «*ноу-хау*», определяемое вышеперечисленными возможностями и обстоятельствами. Разработка теоретических основ процессов биоремедиации, самих технологий и их осуществление требуют междисциплинарного подхода и участия специалистов в области генетики и молекулярной биологии, науки об окружающей среде, инженерных дисциплин. Однако главную роль в этом содружестве играет микробиологическая наука. Дальнейшая разработка стратегий и методов биоремедиации в первую очередь требует углубления знаний, касающихся экологии и эволюции микроорганизмов – биодеструкторов [37].

Таким образом, микробиологический метод, основанный на интродукции микроорганизмов, в сочетании с агротехническим методом (вспашка, рыхление, внесение мелиорантов, косубстратов и минеральных удобрений) позволит повысить эффективность очистки почвы от нефти и нефтепродуктов. Такой подход наиболее приемлем для Казахстана, где нефтедобывающая промышленность активно развивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гилажов Е.Г., Диаров М.Д., Муликов Р.Р. Экология и нефтегазовый комплекс. Алматы: Фалым, 2003. Т. 4. 832 с.
2. Оборин А.А., Калачникова И.Г. и др. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 140-159.
3. Dua M., Singh A., Sethunathan N., Johri A.K. Biotechnology and bioremediation: Successes and limitations // *Appl. Microbiol. and Biotechnol.* [КЭ]. 2002. 59. №2-3. С. 143-152.
4. Шкидченко А.Н., Кошелева И.А. и др. // Тезисы докл. конф. «Экобиотехнология: борьба с нефтяным загрязнением

- окружающей среды». Пушино: Изд-во НЦБИ РАН, 2001. С. 31-33.
5. Кобзев Е.Н., Петрикевич С.Б., Шкидченко А.Н. Исследование устойчивости ассоциации микроорганизмов – нефтедеструкторов в открытой системе // Прикладная биохимия и микробиология. 2001. Т. 37, №4. С. 413-417.
 6. http://ecooil.far.ru/Rekultivacia/Farh_Aleh.htm
 7. Сидоров Д.Г., Борзенков И.А. и др. Микробиологическая деструкция мазута в почве при использовании биопрепарата деворойл // Прикладная биохимия и микробиология. 1998. Т. 34, № 3. С. 281-286.
 8. Борзенков И.А., Михелина Е.И. и др. Патент РФ №2053205. Биопрепарат для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов. Патент РФ №2053205 Оpubл. 27.01.96.
 9. Дядечко В.Н., Толстокурова Л.Е., Гашев С.Н. О биологической рекультивации нефтезагрязненных лесных почв Среднего Приобья // Почвоведение. 1990. 9. С. 148-151.
 10. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2977.html>
 11. Самсонова А.С., Томсон А.Э. и др. Биосорбенты в очистке почвы от нефти // Микробиология и биотехнология на рубеже 21 столетия: Материалы международной конференции, Минск, 1-2 июня, 2000. Минск, 2000. С. 205-206.
 12. Использование углеводородоксилирующих бактерий рода *Pseudomonas* для биоремедиации нефтезагрязненных почв: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Д. С. Станкевич. М., 2002. 1.
 13. Ермоленко З.М., Холоденко В.П., Чугунов В.А. Биологическая характеристика штамма микробактерий, выделенного из нефти Ухтинского месторождения // Микробиология. 1997. 66, 5. С. 650-654.
 14. Стабникова Е.В., Селезнева М.В., Дульгеров А.Н., Иванов В.Н. Применение биопрепарата «Лестан» для очистки почвы от углеводородов нефти // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32, № 2. С. 219-223.
 15. Мурыгина В.П. Биопрепарат «Родер» для очистки почв, почвогрунтов, пресных и минерализованных вод от нефти и нефтепродуктов / Патент РФ №2174496. Оpubл. 15.12.1999.
 16. Патент РФ №2181701. Биопрепарат «Авалон» для очистки объектов окружающей среды от нефти и нефтепродуктов, способ по получению // Лимбах И.Ю., Карапетян Г.О., Оpubл. 27.04.2002.
 17. Пономарева Л.В., Крунчак В.Г., Торгованова В.А., Цветкова Н.П. Биодegradация нефтезагрязненной почвы с использованием биопрепарата «БИОСЭТ» и пероксида кальция // Биотехнология. 1998. 1. С. 79-84.
 18. <http://microzym.nm.ru/bio.htm>
 19. <http://www.econad.com.ua/main.php?id=products>
 20. <http://bioamid.ru/products/ecology/14>
 21. <http://www.bio.su/ukr.htm>
 22. Ягафарова Г.Г. Штамм бактерий *Rhodococcus erythropolis* ФС-1339Д, используемый для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов / Патент РФ №18005097. Оpubл. 10.09.96.
 23. Schussler H. «Noggies» naschen 01 // Umweltschultz. 1988. 10. P. 14-19.
 24. Staff C.P. Mutant bacteria decontaminates spilled crude oil site // Chem. Process. – 1982. – 45, - 4. – P. 96-101.
 25. Патент РФ №2081854. Биопрепарат для очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений // Толстокурова Л.Е., Морозова Т.Н. Оpubл. 20.06.97.
 26. Полякова И.Н. Распределение микроорганизмов, окисляющих углеводороды, в воде Невской губы // Микробиология. – 1969. – 31, 6. С. 872-876.
 27. Cooney J.J., Summers R.I. Hydrocarbon-using microorganisms in three fresh-water ecosystems // Proceeding of the Third Int. Biodegrad. Symp., Kingston, R.I., 1975 // Eds. Sharpley J.M. et.al. L. Applied Sci.Publ. 1976, 141-155.
 28. Логинов О.Н., Четыриков С.П., Гусаков В.Н. Окислительная активность микроорганизмов биопрепарата «Леноил» // Бакш. хим. журнал. 2004. Т. 11. №2. С. 55-57.
 29. Токсиколого-микробиологические аспекты биоремедиации и нефтешлама – отхода нефтехимического производства: Автореф. дис. ... канд. биол. наук / Никитина Е. В. Казань: Казан. гос. ун-т, 2003. 23 с.
 30. Предварительный патент РК №8263. Консорциум штаммов бактерий *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens* и *Bacillus subtilis*, используемый для очистки сточных вод и почв от нефти и нефтепродуктов // Прохорова С.В., Розвага Р.И. и др., Оpubл. 15.12.1999.
 31. Исаева А.В. Микробиология и биотехнология очистки нефтезагрязненных почв и вод в аридных условиях юга Казахстана: Автореф. докт. дис. Алматы, 2006. 38.
 32. Carberry J.B., Wik J. Biodegradation of crude oil fractions soil in a contaminated site // Environ. Sci. Health Part A Tox Hazard Subst. Environ. Eng. 2001. V. 36, N 8. P. 1491-1503.
 33. Киреева Н.А., Онегова Т.С., Шамаева А.А. Комплексная биотехнология очистки детоксикации нефтезагрязненных почв с использованием биопрепарата // Материалы 2 Съезда общества биотехнологов в России, Москва, 13-15 октября, 2004. М., 2004. С. 129-131.
 34. Cho V.H., Chino H., Tsuji H., Makishina H., Uchida, Matsumoto S., Oyaizu H. Recent advances in petroleum microbiology // Chemosphere. 1997. V. 35, N. 7. P. 1613-1621.
 35. Плевакова Е.В., Позднякова Н.Н., Турковская О.В. Получение нефтеокисляющего биопрепарата путем стимуляции аборигенной углеводородоксилирующей микрофлоры // Прикладная биохимия и микробиология. 2005. № 1. С. 42-50.
 36. Щельбикин И.Н., Бирюков В.В. Биоремедиация загрязненных грунтов: технологии и установки // Наука и промышленность России. 2002. №10. С. 57-59.
 37. Микроорганизмы для биоремедиации Боронин А. М. // Проблемы медицинской и экологической биотехнологии: Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 25-летию юбилею ГНЦ ИМ, Оболенск, 14-15 декабря, 1999. Оболенск (Московская обл.), 1999. С. 23-29.

Резюме

Үсылынып тұрған кіріспелік шолу мұнаймен ластанған топырақты биоремедиациялаудың сұрақтарына кеңінен жауаптарды камтиды.

Summary

The suggested review covers questions of the oil-cut soils bioremediation.

Институт микробиологии и вирусологии МОН РК, г. Алматы Поступила 28.02.07г.