

Применение новых биотехнологий при рекультивации черноземов со смешанным типом загрязнения

Л.В. Малыхина¹, И.А. Шайдуллина¹, Н.А. Антонов¹, Д.И. Сибгатова¹, А.Х. Яппаров²,
И.А. Дегтярева², В.З. Латыпова³, Э.Ш. Гадиева³

¹Институт ТатНИПИнефть ПАО «Татнефть», Бугульма, Россия

²Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения, Казань, Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

При рекультивации черноземов со смешанным типом загрязнения оценена экологическая и экономическая эффективность новых биотехнологий для ПАО «Татнефть», включающих применение биопрепарата «Ленойл СХП» на основе штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов (разработка Института Биологии Уфимского научного Центра Российской Академии наук); использование комплексного биопрепарата-деструктора нефтезагрязнений «ДНЗ»; совместное внесение наносорбента и эффективных аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов (разработка ФБГНУ «Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения»); применение «Гумакса» (разработка ООО «Центр Спас») и гумата калия. Эксперименты проведены в течение двух полевых сезонов на выщелоченном и типичном черноземах сельскохозяйственного назначения, загрязненных в результате разлива обводненной девонской и сернистой нефти. На основе данных о динамике содержания нефтепродуктов в почвах, результатов проведения агрохимического и микробиологического мониторингов в течение двух сезонов оценена эффективность новых биотехнологий, и разработаны рекомендации производству.

Ключевые слова: допустимое остаточное содержание нефти, методы биорекультивации загрязненных земель, аборигенные микроорганизмы-деструкторы, гуматы.

DOI: 10.18599/grs.18.2.12

Для цитирования: Малыхина Л.В., Шайдуллина И.А., Антонов Н.А., Сибгатова Д.И., Яппаров А.Х., Дегтярева И.А., Латыпова В.З., Гадиева Э.Ш. Применение новых биотехнологий при рекультивации черноземов со смешанным типом загрязнения. *Георесурсы*. 2016. Т. 18. № 2. С. 138-144. DOI: 10.18599/grs.18.2.12

Введение

В настоящее время в литературе, интернет-ресурсах предлагается много новых биотехнологий по восстановлению плодородия нефтезагрязненных почв, которые разработаны, в основном, для очистки замасоченных почв. Но на практике, при разгерметизации нефтепромысловых трубопроводов на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, где добывается обводнённая нефть, попадание в почву нефтепромысловой жидкости ведёт к смешанному типу загрязнения: солевому и нефтяному. Поэтому рекультивационные мероприятия должны быть направлены на восстановление параметров почв, обеспечивающее их плодородие, в том числе их рассоление и доведение содержания нефтепродуктов в почве до значения норматива допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почве (ДОСНП) (Ибатуллин и др., 2006; Шайдуллина, 2006; Малыхина и др., 2012; РД 153-39.0-716-11..., 2010).

Ранее нами были проведены совместные исследования по испытанию на выщелоченных чернозёмах биотехнологий с выделением аборигенных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов в сочетании с нанобентонитом (ФБГНУ Татарский НИИ АХП Россельхозакадемии) и с применением гуминовоего препарата – «Гумакса» (разработан ООО «Центр Спас» и ООО «НПП») на искусственно загрязнённых грядках с разными вариантами и дозами внесения нефтепромысловой среды. В качестве контроля был использован традиционный метод, включающий внесение навоза и посев мелиоранта. Было показано, рекомендуемые биотехнологии экономически безопасны для сопредельных природных сред, а также менее затратны по сравнению с традиционным вариан-

том рекультивации почв (Шайдуллина и др., 2015).

Целью данной работы было выявление перспективных для условий ПАО «Татнефть» экологически и экономически эффективных биологических методов для рекультивации чернозёмов со смешанным типом загрязнения на местах с разливом обводненной девонской и сернистой нефти. Для исследований на основании литературного обзора были выбраны биотехнологии на основе готовых биопрепаратов штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов: «Ленойл СХП», «ДНЗ»; биотехнология с выделением аборигенных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов в сочетании с нанобентонитом (ФБГНУ Татарский НИИ АХП Россельхозакадемии) (Яппаров и др., 2011); биотехнологии с применением гуминовых веществ – «Гумакса» (предложен ООО «Центр Спас») (ТУ 2458-001-09265941-2012, 2012) и гумата калия марки ВР 20 (ТУ 2189-004-54775950-2000). Традиционный метод рекультивации нефтезагрязнённых почв заключался во внесении навоза в расчёте 60 т/га и в качестве мелиоранта – фосфогипса в расчёте 10 т/га и периодическом рыхлении почв.

Материалы и методы

Работы проводились в течение двух сезонов на экспериментальных участках после разлива обводненной сернистой нефти (тип почвы – выщелоченный чернозём) и обводненной девонской нефти (тип почвы – типичный чернозём).

В качестве фоновых были выбраны участки, находящиеся вблизи от места заложения полевых исследований и не имеющие видимых признаков нарушения земель.

Участки с разливом обводнённой сернистой и обводнённой девонской нефтью были разделены на 6 делянок, где исследовались варианты рекультивации: «Аборигенный штаммы + бентонит», «ДНЗ», «Ленойл СХП», «Гумакс», «гумат калия» по сравнению с традиционным методом. Кроме того, на каждом из опытных участков закладывалась контрольная делянка, где применялись исключительно агротехнические мероприятия.

Рабочие водные суспензии биопрепаратов были внесены в почву методом дождевания. Рабочие суспензии «Ленойла» и «ДНЗ» перед внесением сутки активизировались в питательной среде. При использовании метода ФБГНУ Татарский НИИАХП на поверхность нефтезагрязнённой почвы вносили агроминерал бентонит в качестве наносорбента и аммиачную селитру из расчёта 0,15 т/га; далее в течение вегетационного сезона проводили двукратную обработку нефтезагрязнённых грядок жидким биопрепаратом углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ, титр вносимого сообщества $1,4 \cdot 10^{11}$ КОЕ/мл), разведённым водопроводной водой (1:1) в сочетании с обычными агротехническими мероприятиями. В первый сезон 3 раза проводилась вспашка. Во второй сезон проводились только агротехнические мероприятия и посев пшеницы на поле с разливом девонской нефти. На участке с разливом сернистой нефти наблюдения вели за доминирующими видами полевой растительности.

При испытании эффективности биотехнологий рекультивации нефтезагрязнённых почв применяли комплексный подход. Экологическую эффективность биотехнологий оценивали по результатам обследования в течение двух полевых сезонов агрохимических, микробиологических характеристик усреднённых проб исследуемых почв, их фитопродуктивности и динамики снижения содержания нефтепродуктов в почвах; экономическую эффективность оценивали путём расчёта затрат по применённым методам.

Экспериментальные исследования по оценке эффективности рассматриваемых технологий проводили на базе аккредитованных лабораторий ТатНИПИнефть и КФУ, а также в ФБГНУ Татарский НИИАХП.

Полевое обследование, отбор проб и подготовку проб к анализу выполняли по общепринятым методикам (ГОСТ). Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах проводили методом ИК спектроскопии на приборе КН-1 по методике (Методика измерений..., 1998).

Показатели биологической активности, фитопродуктивности почв, агрохимические и микробиологические характеристики почв оценивали с помощью принятых в практике мониторинга методов (ГОСТ, РД, ПНДФ и др.). Все лабораторные эксперименты проводили не менее чем в трёхкратной повторности.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 8.0. Достоверность различий полученных результатов оценивали с использованием коэффициента Стьюдента ($P = 95\%$), характеристики случайной составляющей погрешности измерения вычисляли по общепринятой схеме (Корн, Корн, 1978).

Результаты и их обсуждение

Агрохимический мониторинг включал в себя определение гранулометрического состава, pH солевой вытяжки,

ёмкости катионного обмена, pH водной вытяжки, плотного остатка водной вытяжки, гидролитической кислотности, хлоридов, сульфатов, подвижного фосфора, органического вещества, легкогидролизуемого азота.

Анализ полученных результатов показал, что для участка с разливом девонской нефти во всех вариантах с применением микробных технологий общее содержание углерода уменьшалось более интенсивно, чем при использовании традиционного метода. Для участка с разливом сернистой нефти наибольшее значение содержания общего углерода зафиксировано для вариантов «традиционный» и «контроль».

По данным полного анализа водной вытяжки почв, тип засоления на исследуемых участках относился к «хлоридному». Согласно СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» для хлоридного типа засоления верхний предел суммы токсичных солей должен быть 0,10 %, сульфат-иона – 0,02 %, хлор-иона – 0,03 %. Предельно допустимая концентрация сульфат-иона в почве составляет 160 мг/кг почвы (СанПиН 42-128-4433-87, 1987). На участке с разливом девонской нефти к концу первого сезона все биотехнологии, кроме варианта «Ленойл-СХП», по результатам снижения содержания хлорид-ионов в почвах оказались лучше традиционного метода и варианта «контроль». Традиционный метод и проведение обычных агротехнических мероприятий (вариант «контроль») к началу второго сезона не обеспечили снижения содержания хлорид-ионов до требуемого СНиП 2.06.03-85 уровня. Результаты лабораторных исследований представлены в табл. 1.

К концу второго сезона для почв, загрязнённых девонской нефтью, небольшое превышение содержания сульфат-ионов наблюдалось только для делянок, обработанных гуматом калия (0,026 %), традиционным методом (0,025 %) и биопрепаратом «Ленойл СХП» (0,026 %). Для почв, загрязнённых сернистой нефтью, все делянки к началу второго сезона отвечали требованиям СНиП 2.06.03-85 по содержанию хлорид-ионов, но по содержанию сульфат-ионов в пахотном слое, делянка с вариантом «традиционный» оставалась загрязнённой (0,046 %).

Для участка с разливом девонской нефти в варианте «традиционный метод» содержание плотного остатка водной вытяжки в пробах почв к концу второго сезона соста-

Вариант технологии	27.05.13	07.10.13	14.05.14	07.08.14
Аборигенные штаммы + бентонит	0,1960	0,0487	0,013	-
ДНЗ	0,2230	0,0602	0,012	
Ленойл СХП	0,2320	0,1560	0,023	-
Гумакс	0,2010	0,0398	0,019	-
Гумат калия	0,1860	0,0657	0,012	-
Традиционный метод	0,1560	0,1010	0,052	0,0186
Контроль	0,1560	0,1028	0,04	0,0159
Фон	0,0030	0,003	0,016	-

Табл. 1. Содержание хлорид-ионов в пахотном слое 0-15 см, % (экспериментальный участок с разливом девонской нефти).

вило 0,458 %, что выше установленных нормативов. Для участка с разливом сернистой нефти по содержанию плотного остатка водной вытяжки, небольшое превышение нормативного значения выявлено для варианта «Ленойл СХП» (0,115 %).

По остальным агрохимическим показателям результаты исследований для всех вариантов были сопоставимы.

Таким образом, по агрохимическим показателям согласно полученным данным для участка с разливом девонской нефти наиболее предпочтительны варианты рекультивации «аборигенные штаммы + наносорбент», «Гумакс», «ДНЗ», а для участка с разливом сернистой нефти – все, кроме методов «традиционный» и «Ленойл СХП».

Микробиологический мониторинг заключался в определении количества углеводородокисляющих и гетеротрофных микроорганизмов, микроскопических грибов, суммарной микробной биомассы, определении базального дыхания почвенного микробного сообщества.

Численность углеводородокисляющих (УОМ) и гетеротрофных микроорганизмов в загрязненной почве является важным диагностическим параметром, потому что почвенная микрофлора активно участвует в процессах естественной деструкции углеводородов. Для участка с разливом девонской нефти по имеющимся данным за первый сезон наиболее активно углеводородокисляющие микроорганизмы во время первого отбора (после разлива) развивались в вариантах «аборигенные штаммы + наносорбент», «Гумакс», «ДНЗ», «традиционный метод», «Ленойл-СХП» (0,25 млн./г). Тем не менее эти показатели были на порядок ниже, чем в почвах фоновых участков (0,025 млн./г). Второй отбор проб почв, проведенный через 1,5 мес, показал для всех вариантов резкое уменьшение соответствующих показателей (0,025-0,00025 млн./г). К третьему отбору, проведенному в самом конце сезона (через 2 мес), количество УОМ увеличилось примерно на порядок (0,25-0,025 млн./г). Во всех вариантах, кроме «Ленойл СХП» (0,025 млн./г), количество УОМ было сопоставимо с величиной для фоновых участков.

Численность гетеротрофов во всех опытных вариантах во время первого отбора, кроме варианта «Ленойл СХП» (16,0 млн./г), была сопоставима с характерной для почвы фонового участка (10,8 млн./г). Через 1,5 мес выявлено увеличение их численности в 3,8-6,3 раз. Величины были сопоставимы во всех опытных вариантах. К концу сезона их количество было минимальным (8,8-10,3 млн./г).

Значительный интерес представляет исследование присутствия в почве микромицетов, которые представляют собой группу микроорганизмов, универсальную по своему значению для формирования плодородия почвы. Помимо фоновой почвы небольшое их количество для участка с разливом девонской нефти отмечено только в трех опытных вариантах (1,0-5,0 млн./г). При втором отборе во всех опытных вариантах выявлено увеличение их численности (40,0-80,0 тыс./г). К третьему отбору количество грибов снизилось в 3,2-5,2 раз и составило 10,0-20,0 тыс./га.

Микробная биомасса и респираторная активность являются интегральными показателями состояния почв. Во время второго отбора максимальные величины микробной биомассы для участка с разливом девонской нефти отмечены в вариантах «аборигенные штаммы + наносор-

бент» и «Гумакс» (50,6-56,0 мг Сmic/г), несколько ниже были показатели в остальных опытных вариантах (22,8-41,4 мг Сmic/г). В конце сезона этот показатель был ниже (9,8-21,4), в то время как в фоновой почве он составил 34,1 мг Сmic/г.

Базальное дыхание во время первого отбора самым низким было в варианте «гумат калия» (2,8 мг $\text{CO}_2/(100 \text{ г} \cdot 24 \text{ ч})$), а самым высоким – в варианте «ДНЗ» (17,8 $\text{CO}_2/(100 \text{ г} \cdot 24 \text{ ч})$). При втором отборе проб во всех опытных вариантах респираторная активность составила 22,3-31,4 мг $\text{CO}_2/(100 \text{ г} \cdot 24 \text{ ч})$, а к концу сезона уменьшилось до 12,0-18,1 мг $\text{CO}_2/(100 \text{ г} \cdot 24 \text{ ч})$.

По совокупности всех изученных параметров по восстановлению почвенного плодородия в вариантах с девонской нефтью лучшая картина отмечена по первому сезону в вариантах «аборигенные штаммы + наносорбент» и «Гумакс».

Во второй год исследований микробиологические параметры определялись к концу сезона. В двух вариантах – «аборигенные штаммы + бентонит» и «ДНЗ» – численность УОМ не изменилась по сравнению с характерной для первого года. В варианте «Ленойл СХП» количество УОМ снизилось в 5,2 раз.

Микроорганизмы гетеротрофного блока активно росли в вариантах «ДНЗ», «гумат калия» и «контроль». Именно в этих образцах практически вдвое выросла их численность по сравнению с численностью в первый год. Лучшие показатели отмечены и в вариантах «аборигенные штаммы + бентонит» (31,5 млн./г) и «Ленойл СХП» (29,0 млн./г почвы). Только в двух образцах – «Гумакс» и «традиционный» – количество этих микроорганизмов осталось на уровне одного года.

Во всех изученных вариантах наблюдали увеличение роста микроскопических грибов. Максимальные показатели отмечены для варианта «традиционный» (55,0 тыс./г). Был изучен видовой состав микромицетов. В варианте «гумат калия» обнаружены фитопатогенные почвенные грибы (представители рода *Alternaria*). Следует отметить, что микромицеты рода *Trichoderma* обнаружены только в вариантах «аборигенные штаммы + бентонит» и «контроль». Это является позитивным фактом, так как представители данного рода обладают высокой антагонистической активностью к фитопатогенным грибам. В течение второго сезона на участке с девонской нефтью состояние микробиоценоза заметно улучшилось. Доказательством этому служат показатели микробной биомассы и респираторной активности, которые во всех опытных вариантах выросли в несколько раз.

Для участка с разливом сернистой нефти при первом отборе проб максимальное количество УОМ (2,5 млн./г) отмечено в варианте «аборигенные штаммы + наносорбент». Второй отбор показал снижение их численности для всех опытных вариантов, но к концу сезона она немного увеличилась или осталась на уровне второго отбора.

Количество гетеротрофов в опытных вариантах также существенно не различалось в конкретную дату отбора. Однако следует выделить варианты «Ленойл СХП» «ДНЗ», «гумат калия», «контроль», в которых в динамике получены несколько большие показатели.

Необходимо подчеркнуть, что после загрязнения сер-

нистая нефть оказала угнетающее действие на микроскопические грибы. Только к концу первого сезона их численность стала практически такой же, как в почве фонового участка.

Динамика микробной биомассы такова: первый и третий отборы показали сопоставимые результаты, только при втором отборе проб все показатели были немного выше (45,1-66,8 мг Сmic/г).

При изучении базального дыхания показатели в первый и третий отборы составили 27,1-47,5 и 18,3-42,4 мг CO₂/(100 г·24 ч) соответственно. Исключением являлись варианты «традиционный», «ДНЗ», «аборигенные штаммы + наносорбент», «Гумакс» во время второго отбора, в которых респираторная активность уменьшились (15,5-29,1 мг CO₂/(100 г·24 ч)).

На второй сезон численность углеводородокисляющих микроорганизмов увеличилась в вариантах «аборигенные штаммы + бентонит», «Гумакс» и «контроль». Снижение этого показателя отмечено в вариантах «Ленойл СХП» и «традиционный». В вариантах «ДНЗ» и «гумат калия» их количество сопоставимо с данными первого сезона.

Практически аналогично во втором сезоне изменилось и количество гетеротрофов. Только в варианте «традиционный» численность этой группы осталась на уровне первого сезона, а в варианте «контроль» немного снизилась.

Количество микроскопических грибов в большинстве вариантов увеличилось. Максимальный показатель получен в варианте «контроль» (130,0 тыс./г). Практически не изменились значения по сравнению с первым сезоном в варианте «Гумакс». Таким образом, угнетающее действие сернистой нефти на микромицеты нивелировалось. Был также изучен видовой состав микромицетов. В двух вариантах – «традиционный» и «контроль» – обнаружены фитопатогенные почвенные грибы (представители родов *Fusarium* и *Alternaria*).

Микробная биомасса и респираторная активность в большинстве исследованных вариантов увеличилась. В двух вариантах – «гумат калия» и «контроль» – при росте микробной биомассы показатели базального дыхания остались на уровне первого сезона.

Таким образом, для образцов, загрязненных как сернистой, так и девонской нефтями, по изучаемым микробиологическим параметрам по первому сезону в большинстве вариантов получены сопоставимые данные, а во втором сезоне в большинстве опытных вариантов состояние микробного ценоза существенно улучшилось. В вариантах с использованием альтернативных биотехнологий «аборигенные штаммы + бентонит» и «Гумакс» выявлен более высокий уровень процессов деструкции углеводов.

По изменению содержания нефтепродуктов в почве по первому сезону выделить преимущество какого-либо метода не представлялось возможным, требовалось проведение мониторинга на второй сезон. Визуальное состояние почв к концу сезона не отличалось от состояния почвы на фоновом участке и не имело запаха нефти, что связано с улетучиванием и деградацией легких, но наиболее токсичных для растений углеводов.

Во втором сезоне по сравнению с результатами, полученными в конце первого сезона, более активное сниже-

ние содержания нефтепродуктов на участке с разливом девонской нефти (тип почвы – типичный чернозём) зафиксировано для вариантов «аборигенные штаммы + бентонит» (на 56 %), «Гумакс» (на 54 %). Самые низкие значения содержания нефтепродуктов выявлены для варианта «аборигенные штаммы + бентонит» (5700±1425 мг/кг), что превышает норматив ДОСНП для типичных чернозёмов (3100±310 мг/кг) (Об утверждении региональных нормативов..., 2012).

По динамике изменения содержания нефтепродуктов в почвах, загрязнённых сернистой нефтью (тип почвы – выщелоченный чернозём), за второй сезон произошло заметное снижение содержания нефтепродуктов для вариантов: «традиционный метод» (на 71 %), «Гумакс» (72 %), «аборигенные штаммы + бентонит» (на 56 %). К значению, близкому к нормативу ДОСНП для выщелоченных чернозёмов РТ (2900±290 мг/кг), достигнуто содержание нефтепродуктов для вариантов «аборигенные штаммы + бентонит» (3341±835 мг/кг), «Гумакс» (4071±1018 мг/кг).

Фитопродуктивность является комплексным показателем, выявляющим хроническую фитотоксичность, что было доказано и нашими предыдущими исследованиями при разработке нормативов ДОСНП (Ибатуллин и др., 2006; Малыгина и др., 2012; РД 153-39.0-716-11..., 2010).

Определение фитопродуктивности загрязнённых почв после проведения рекультивационных мероприятий для разлива девонской нефти в первом сезоне было проведено для ростков пшеницы (*Triticum L.*), выросших на опытных делянках после уборки урожая с незагрязнённого участка. С каждой делянки было исследовано по 15 растений, у которых изучали внешний вид, определяли средний рост и сухую фитомассу на одно растение. Результаты выявили, что по развитию и росту растений самые низкие результаты у вариантов «контроль» (11,7 см) и «традиционный метод» (13,6 см), самые высокие у вариантов – «аборигенные штаммы + наносорбент» (19 см). По величине фитопродуктивности лучшей оказалась делянка «аборигенные штаммы + наносорбент» (0,0471 г), худшими – «контроль» (0,0229 г), «Ленойл-СХП» (0,0224 г), «традиционный» (0,0280 г). На незагрязнённом участке (фон) показатели среднего роста одного растения пшеницы составили 23,7 см, а фитомассы – 0,1325 г.

Кроме того, для определения фитопродуктивности исследуемых почв в лабораторных условиях был поставлен опыт в вегетационных сосудах (объём 500 см³) с почвенными образцами из опытных делянок, время экспозиции 3 недели. В качестве тест-объектов использованы два вида растений: односемядольное растение – пшеница яровая (*Triticum vulgare L.*) сорта Экада-97 и двусемядольное растение – горох посевной (*Pisum sativum L.*) сорта Варис. Выбор указанных видов обусловлен высокой экономической значимостью данных культур для Республики Татарстан.

Анализ данных по вегетационному опыту в лабораторных условиях для участков с разливом девонской нефти выявил самое плохое развитие растений по тест-объекту горох в варианте «контроль» (0,0384 г), по пшенице – в варианте «традиционный метод» (0,0091 г). Самое лучшее развитие растений по гороху в вариантах «ДНЗ» (0,0663 г), по пшенице – «гумат калия» (0,0130 г). Значение фито-

Вариант технологии	Цвет (11.07.14)	Ср. рост 1 растения, см (11.07.14)	Средняя масса 1 растения, г (11.07.14)	Масса 1 колоса, г (11.07.14)	Масса 1 колоса, г (14.08.14)
Аборигенные штаммы + бентонит	зелёный	94	17,6	2,0	4,86
ДНЗ	зелёный с желтоватыми пятнами	72	5,4	1,0	2,34
Ленойл СХП	желто-зелёный	66	6,2	1,1	2,36
Гумакс	зелёный	78	17,3	2,0	3,5
Гумат калия	зелёный	67	8,6	1,1	2,28
Традиционный метод	желто-зелёный	62	3,6	1,0	1,82
Контроль	желто-зелёный	52	3,2	0,9	1,64
Фон	зелёный	95	27,1	2,4	4,9

Табл. 2. Результаты исследования фитопродуктивности по тест-объекту пшеница (*Triticum L.*) (участок с разливом девонской нефти, 2-й сезон).

Вариант технологии	Цвет	Средний рост 1 растения (трёхрёберник продырявленный), см	Средняя масса 1 растения (трёхрёберник продырявленный) свежесрезанного, г	Средний рост 1 растения (лядвенец рогатый), см	Средняя масса 1 растения (лядвенец рогатый) свежесрезанного, г
Аборигенные штаммы + бентонит	ярко-зелёный	73	230,0	30	8,6
ДНЗ	желто-зелёный	36	70,0	21	4,4
Ленойл СХП	желтый	60	77	17	2,23
Гумакс	ярко-зелёный	73	180,0	33	11,3
Гумат калия	зелёный	60	50,0	31	16,1
Традиционный метод	желтый	39	23,33	20	5,7
Контроль	жёлтый	43	30,0	16	2,3
Фон	ярко-зелёный	73	180	30	8,5

Табл. 3. Результаты исследования фитопродуктивности (участок с разливом сернистой нефти) по тест-объектам трёхрёберник продырявленный (*Tripleurospermum inodorum L.*) и лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus L.*) (11.07.2014).

массы в сосудах с фоновыми почвами для гороха составили 0,0591 г, для пшеницы – 0,0107 г.

Результаты вегетационного опыта, проводимого в лабораторных условиях для участков с разливом сернистой нефти, сопоставимы для всех вариантов. По обоим тест-объектам лучшими выглядели технологии «Ленойл СХП», «традиционный», «ДНЗ», «аборигенные штаммы + наносорбент», «Гумакс», «гумат калия».

Таким образом, на основании вышеизложенного по первому сезону можно сделать вывод об эффективности всех биотехнологий. Процесс рекультивации с использованием агротехнических мероприятий охватывает и нижние горизонты загрязнённых почв, в которых остались нелетучие тяжелые углеводороды. По многим показателям, если предпочтение отдать данным натурального полевого исследования, некоторое преимущество имеют методы «аборигенные штаммы + наносорбент», «Гумакс».

Параметры развития растений во втором сезоне для участка с разливом девонской нефти оценены по внешнему виду, цвету, росту, массе свежесрезанных растений и колосьев пшеницы (Табл. 2). По средней фитомассе одного растения, одного колоса, росту, цвету и параметрам развития растений лучшими являются технологии рекультивации «аборигенные штаммы + бентонит» и «Гумакс», которым традиционный метод очень сильно уступает.

Самые низкие показатели получены, как и следовало ожидать, для варианта «контроль».

Для участка с разливом сернистой нефти наилучшие показатели фитопродуктивности по тест-объекту трёхрёберник продырявленный (*Tripleurospermum inodorum L.*), сопоставимые с фитопродуктивностью на фоновом участке, получены для вариантов «аборигенные штаммы + бентонит», «Гумакс» (Табл. 3). По тест-объекту «лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus L.*)» наилучшие показатели фитопродуктивности зафиксированы для вариантов «аборигенные штаммы + бентонит», «Гумакс», «гумат калия» (Табл. 3).

С экономической точки зрения наиболее эффективными являются варианты технологий: «аборигенные штаммы + наносорбент» (4070 р./га), «Гумакс» (от 4200 до 5400 р./га), «гумат калия» (5900 руб./га). Остальные рассмотренные технологии намного дороже традиционного метода (31000 руб./га). Так как затраты на проведение агротехнических мероприятий примерно одинаковы, в расчёте учтены только затраты, связанные со внесением удобрений, препаратов и мелиоранта.

Таким образом, в рамках данных исследований рекомендуемым методом для восстановления чернозёмов, загрязнённых нефтепромысловой жидкостью, являются методы «Аборигенные штаммы + наносорбент» и «Гумакс».

Рекомендации к производству

Для восстановления чернозёмов смешанного типа загрязнения в Республике Татарстан предлагается использовать:

1) метод с применением «Гумакса», предложенный ООО «Центр Спас», метод экологически и экономически выгодный, удобен для применения;

2) метод, разработанный ФБГНУ Татарский НИИАХП с выделением аборигенных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов в сочетании с бентонитом.

При использовании традиционного метода для ускорения темпов восстановления почв необходимо использовать перепревший навоз (перегной).

Литература

Ибатуллин Р.Р., Мутинов И.И., Исхакова Н.М., Шайдуллина И.А., Сахбугудинов К.Г., Павлюк Н.В. Разработка норматива допустимого остаточного содержания нефти и продуктов её трансформации в почве (ДОСНП) для выщелоченных чернозёмов Республики Татарстан. *Интервал*. 2006. № 2. С. 6-10.

Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М: Наука. 1978. 831 с.

Мальхина Л.В., Шайдуллина И.А., Колесникова Н. Е., Антонов Н.А. Разработка комплекса мероприятий по проведению рекультивации земель, нарушенных при строительстве и эксплуатации нефтепромысловых объектов. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2012. № 10. С. 10-13.

Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в почве и донных отложениях методом инфракрасной спектроскопии. ПНДФ 16.1:2.2.22-98.

Об утверждении региональных нормативов «Допустимое остаточное содержание нефти и продуктов ее трансформации в черноземах оподзоленных, черноземах типичных, дерново-подзолистых, темно-серых лесных, дерново-карбонатных выщелоченных, дерново-карбонатных оподзоленных почвах Республики Татарстан после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ для земель сельскохозяйственного назначения». Приказ Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан от 14 мая 2012 г. № 174-п.

РД 153-39.0-716-11. Инструкция по рекультивации земель, нарушенных в результате разгерметизации нефтепромысловых трубопроводов. ТатНИПИнефть ОАО «Татнефть». Бугульма. 2010. 77 с.

СанПиН 42-128-4433-87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. № 4433-87. 1987.

ТУ 2458-001-09265941-2012. Органо-химические почвогрунты из твердых нефтешламов, обработанных гуминовым препаратом. М: Госстандарт. 2012.

Шайдуллина И.А. Нормирование и минимизация образования и опасности нефтезагрязненных почв для природной среды (на примере ОАО «Татнефть»). *Автореф. дис. канд. хим. наук*. Казань. 2006. 24 с.

Шайдуллина И.А., Антонов Н.А., Сибгатова Д. И., Яппаров

А.Х., Дегтярева И.А., Латыпова В.З., Гадиева Э.Ш. Исследование эффективности и экологической безопасности некоторых современных методов рекультивации нефтезагрязненных почв. *Георесурсы*. 2015. № 4(63). С. 44-46.

Яппаров А.Х., Дегтярева И.А., Яппаров И.А., Ежкова А.М., Хидиятуллина А.Я. Технология получения экологически безопасной продукции сельского хозяйства при биорекультивации нефтезагрязненных почв аборигенными углеводородокисляющими микроорганизмами и наноструктурированными бентонитами. Казань: Изд-во Центра инновационных технологий. 2011. 220 с.

Сведения об авторах

Лариса Витальевна Мальхина – зав. лабораторией экологической безопасности техники и технологий, канд. хим. наук, Институт ТатНИПИнефть ПАО «Татнефть» Россия, 423236, Бугульма, ул. М. Джалиля, 32

Ильмира Атласовна Шайдуллина – старший научный сотрудник, канд. хим. наук, Институт ТатНИПИнефть ПАО «Татнефть»

Россия, 423236, Бугульма, ул. М. Джалиля, 32
Тел: +7(85594)7-88-59, e-mail: ecolog@tatnipi.ru

Николай Анатольевич Антонов – инженер, Институт ТатНИПИнефть ПАО «Татнефть»

Россия, 423236, Бугульма, ул. М. Джалиля, 32

Диляра Ильхамовна Сибгатова – инженер, Институт ТатНИПИнефть ПАО «Татнефть»

Россия, 423236, Бугульма, ул. М. Джалиля, 32

Ахтам Хусаинович Яппаров – директор, доктор с.-х. наук, профессор, ФГБУ Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения

Россия, 420059, Казань, ул. Оренбургский тракт, 20 а

Ирина Александровна Дегтярева – зав. лабораторией агроэкологии и микробиологии, доктор биол. наук, ФГБУ Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения

Россия, 420059, Казань, ул. Оренбургский тракт, 20 а

Венера Зиннатовна Латыпова – доктор хим. наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Эльвира Шамсуллаевна Гадиева – магистрант, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Статья поступила в редакцию 16.02.2016

Application of New Biotechnologies in the Remediation of Black Soil with Mixed Pollution

L.V. Malykhina¹, I.A. Shaydullina¹, N.A. Antonov¹, D.I. Sibgatova¹, A.Kh. Yapparov², I.A. Degtyareva², V.Z. Latypova³, E.Sh. Gadieva³

¹Institute TatNIPIneft PJSC Tatneft, Bugulma, Russia

²Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science, Kazan, Russia

³Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

Abstract. During remediation of black soil with mixed pollution we assessed the environmental and economic efficiency of new biotechnologies for the PJSC Tatneft. They

included biological preparation «Lenoyl SKhP» based on strains of hydrocarbon-oxidizing microorganisms (development of the Institute of Biology of the Ufa Scientific

Center of the Russian Academy of Sciences); complex biological preparation – destructor of oil pollutions «DNZ»; joint introduction of nanosorbents and effective indigenous hydrocarbon-oxidizing microorganisms (development of the Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science); and «Gumaks» (development of the LLC «Center Spas») and potassium humate. Experiments were carried out over two field seasons on leached and typical agricultural black soils contaminated due to the spill of Devonian watery and sour oil. Based on the data about dynamics of oil content in soils, results of agrochemical and microbiological monitoring over two seasons we evaluated the efficiency of new biotechnologies and developed recommendations for production.

Keywords: admissible residual oil content; methods of bioremediation of contaminated land; indigenous microorganisms-destructors; humate.

References

- Guidance document 153-39.0-716-11. Instruksiya po rekul'tivatsii zemel', narushennykh v rezul'tate razrernetizatsii neftepromyslovykh truboprovodov [Instruction for land reclamation, disturbed by loss of oilfield piping integrity]. TatNIPIneft PJSC Tatneft. Bugulma. 2010. 77 p. (In Russ.)
- Ibatullin R.R., Mutin I.I., Iskhakova N.M., Shaydullina I.A., Sakhabutdinov K.G., Pavlyuk N.V. Razrabotka normativa dopustimogo ostatechnogo soderzhaniya nefi i produktov ee transformatsii v pochve (DOSNP) dlya vyschelochnykh chernozemov Respubliki Tatarstan [Development of the standart of permissible residual quantity of oil and products of its transformation in soil for leached chernozem of Tatarstan Republic]. *Interval*. 2006. No. 2. Pp. 6-10. (In Russ.)
- Korn G., Korn T. Guide to mathematics for scientists and engineers. Moscow: Nauka. 1978. 831 p. (In Russ.)
- Malykhina L.V., Shaydullina I.A., Kolesnikova N. E., Antonov N.A. Razrabotka kompleksa meropriyatiy po provedeniyu rekul'tivatsii zemel', narushennykh pri stroitel'stve i ekspluatatsii neftepromyslovykh ob'ektov [Development of land reclamation project disturbed during construction and operation of oilfield facilities]. *Zaschita okruzhayushey sredy v neftegazovom komplekse = Environmental protection in the oil and gas sector*. 2012. No. 10. Pp. 10-13. (In Russ.)
- Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v pochve i donnykh otlozheniyakh metodom infrakrasnoy spektrometrii [Method of oil mass concentration measurements in soil and sediments by infrared spectrometry]. Federated environmental regulations 16.1: 2.2.22-98. (In Russ.)
- Ob utverzhdenii regional'nykh normativov «Dopustimoe ostatechnoe soderzhanie nefi i produktov ee transformatsii v chernozemakh opodzolennykh, chernozemakh tipichnykh, dervno-podzolistykh, temno-serykh lesnykh, dervno-karbonatnykh vyschelochnykh, dervno-karbonatnykh opodzolennykh pochvakh Respubliki Tatarstan posle provedeniya rekul'tivatsionnykh i inykh vosstanovitel'nykh rabot dlya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya» [Approval of regional standards «Permissible residual oil and its transformation products into chernozems podzolic, chernozem typical, sod-podzolic, dark gray forest, sod-carbonate leached sod calcareous podzolized soils of the Republic of Tatarstan after remediation and other recovery operations for agricultural lands»] Order of the Ministry of ecology and natural resources of the Republic of Tatarstan. 2012. No. 174-p. (In Russ.)
- Sanitary regulations 42-128-4433-87. Sanitarnye normy dopustimykh kontsentratsiy khimicheskikh veschestv v pochve [Sanitary norms of permissible concentrations of chemicals in soil]. 1987. No. 4433-87. (In Russ.)
- Shaydullina I.A. Normirovanie i minimizatsiya obrazovaniya i opasnosti neftezagryaznennykh pochv dlya prirodnoy sredy (na primere OAO «Tatneft») [Rationing and hazardous oil contaminated soil minimization for environment (on the example of JSC «Tatneft»)]. Avtoref. Diss. chem. nauk [Abstract Cand. chem. sci. diss.]. Kazan, 2006. 24 p. (In Russ.)
- Shaydullina I.A., Antonov N.A., Sibgatova D.I., Yapparov A.Kh., Degtyareva I.A., Latypova V.Z., Gadieva E.Sh. Research of the Efficiency and Environmental Safety of Some Modern Methods for Remediation of Oil-Contaminated Soil. *Georesursy = Georesources*. 2015. V. 2. No. 4(63). Pp. 44-47.
- Technical rules 2458-001-09265941-2012. Organo-khimicheskie pochvo-grunty iz tverdykh nefteshlamov, obrabotannykh guminovym preparatom [Organo-chemical soil from solid sludge treated with humic substances]. Moscow: Gosstandart. 2012. (In Russ.)
- Yapparov A.Kh., Degtyareva I.A., Yapparov I.A., Ezhkova A.M., Khidiyatullina A.Ya. Tekhnologiya polucheniya ekologicheskii bezopasnoy produktsii sel'skogo khozyaystva pri biorekul'tivatsii neftezagryaznennykh pochv aborigennymi uglevodorodokislyayuschimi mikroorganizmami i nanostrukturirovannymi bentonitami [The technology of environmentally safe agricultural products at bioreclamation of contaminated soils by indigenous hydrocarbon-oxidizing microorganisms and nanostructured bentonite]. Kazan: Publ. House of the Innovation Center. 2011. 220 p. (In Russ.)
- Yapparov A.Kh., Yapparov I.A., Khabipov N.N., et al. Tekhnologiya polucheniya ekologicheskii bezopasnoy produktsii sel'skogo khozyaystva pri biorekul'tivatsii neftezagryaznennykh pochv aborigennymi uglevodorodokislyayuschimi mikroorganizmami i nanostrukturirovannymi bentonitami [Production technology of environmentally safety agricultural products in the bioremediation of oil-contaminated soil by indigenous hydrocarbon-oxidizing microorganisms and nanostructured bentonite]. Kazan: Center for Innovative Publ. 2010. 220 p. (In Russ.)

For citation: Malykhina L.V., Shaydullina I.A., Antonov N.A., Sibgatova D.I., Yapparov A.Kh., Degtyareva I.A., Latypova V.Z., Gadieva E.Sh. Application of New Biotechnologies in the Remediation of Black Soil with Mixed Pollution. *Georesursy = Georesources*. 2016. V. 18. No. 2. Pp. 138-144. DOI: 10.18599/grs.18.2.12

Information about authors

Larisa V. Malykhina – Head of the Laboratory of Ecological Safety of Technique and Technology, PhD (Chem.), Institute TatNIPIneft PJSC Tatneft

Russia, 423236, Bugulma, M. Dzhaliyeva str., 32

Il'mira A. Shaydullina – Senior Researcher, PhD (Chem.), Institute TatNIPIneft PJSC Tatneft

Russia, 423236, Bugulma, M. Dzhaliyeva str., 32

Tel: 8.85594.78859, e-mail: ecolog@tatnipi.ru

Nikolay A. Antonov – Engineer, Institute TatNIPIneft PJSC Tatneft

Russia, 423236, Bugulma, M. Dzhaliyeva str., 32

Dilyara I. Sibgatova – Engineer, Institute TatNIPIneft PJSC Tatneft

Russia, 423236, Bugulma, M. Dzhaliyeva str., 32

Akhtam Kh. Yapparov – Director, Doctor of Science (Agric.), Professor, Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science

Russia, 420059, Kazan, Orenburg Tract, 20a

Irina A. Degtyareva – Head of the Laboratory of Agroecology and Microbiology, Doctor of Science (Biol.), Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science

Russia, 420059, Kazan, Orenburg Tract, 20a

Venera Z. Latypova – Doctor of Science (Chem.), Professor, Kazan (Volga region) Federal University

Russia, 420008, Kazan, Kremlevskaya str., 18

El'vira Sh. Gadieva – BSc., Kazan (Volga region) Federal University

Russia, 420008, Kazan, Kremlevskaya str., 18

Manuscript received February 16, 2016