

УДК 579.66

ВЛИЯНИЕ БИОСОРБЕНТА «УНИСОРБ-БИО», МОДИФИЦИРОВАННОГО МАКУЛАТУРОЙ, НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА КЛЕВЕРА РОЗОВОГО В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© 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 – биопрепарата «Унисорб-Био», модифицированного макулатурой, на биодеструкцию нефти с последующим фитоконтролем почвы тест-культурой клевера розового – шведского (*Trifolium hybridum*).

Показано, что за 18 недель экспонирования «Унисорб-Био» с иммобилизованными на нем нефтеокисляющими штаммами *Pseudomonas sp.* и *Bacillus subtilis* содержание нефти в почве снизилось в 10 раз, что на порядок выше по сравнению с контролем. Высокие посевные качества (энергия прорастания, всхожесть семян – 82%) наблюдаются при использовании «Унисорб-Био», модифицированного макулатурой из газетной бумаги, в условиях 10%-го начального загрязнения почвы, при содержании нитрофоски 0.05%.

В почве с «Унисорб-Био», модифицированным макулатурой из бумаги «Снегурочка», показатели ниже на 17–20%, чем в образцах почвы с биопрепаратом, модифицированным макулатурой из газетной бумаги, что, по-видимому, связано с большей деструктируемостью последнего в этих условиях и увеличением в почве подвижных форм азота и фосфора.

О сравнительно хорошем уровне восстановления почвы при 15%-ном начальном загрязнении и практически не зависящем от вида биопрепарата свидетельствуют результаты фитоконтроля (энергия прорастания, всхожесть семян – 52%). Наблюдаемые посевные качества и морфобиологические показатели дают основание сделать вывод о том, что модифицированный макулатурой биопрепарат «Унисорб-Био» способен в течение одного сезона восстановить почву даже с высоким уровнем загрязнения.

Ключевые слова: нефть, почва, загрязнение нефтью, биопрепарат «Унисорб-Био», биоремедиация, фитоконтроль, клевер розовый – шведский.

Введение

В настоящее время загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами – актуальная проблема. Нефть и ее производные, попадая в окружающую среду, оказывают негативное влияние как на водный режим, так и на физические свойства почв, приводит к трансформации ее гумусного состояния, кислотно-основных, окислительно-восстановительных и катионно-обменных свойств, биологической активности, снижают в ней содержание подвижных соединений азота, фосфора и калия, приводящее к угнетению микробиоценозов, гибели растительного покрова, снижению плодородия почв [1–8].

Происходящее в результате загрязнения почвы нарушение в ней воздушного режима, включающего механическое вытеснение воздуха нефтью, усиление деятельности анаэробных микроорганизмов, а также изменение водного баланса в системе «почва – растение» и образование токсичных продуктов окисления углеводов,

приводят к подавлению роста растений, появлению у них морфологических и физиологических изменений, которые являются индикаторными признаками нефтяного загрязнения [4, 9–11].

Для устранения последствий токсичного влияния нефтегенных веществ на почвенную среду

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

* Автор, с которым следует вести переписку.

в настоящее время имеется широкий спектр методов, применяемых для очистки нефтезагрязненных почв и водоемов, которые отличаются по способу деструкции нефтепродуктов (механические, физико-химические, биологические), аппаратурному оформлению, длительности и эффективности процесса и экономическим затратам [12–18]. Одной из распространенных технологий, которая практически применяется при всех способах очистки нефтезагрязненных почв, является биоремедиация. Биоремедиация – это длительный процесс биодеградации углеводородов нефти (несколько вегетационных сезонов), и эффективность его зависит от уровня начального загрязнения, применяемых методов сбора и ликвидации загрязнений, климатических условий и других факторов, вследствие чего интенсификация данного процесса представляет важную экологическую и технологическую задачу [13, 14]. Одним из главных и приоритетных направлений в области охраны окружающей среды и рационального природопользования являются разработка и внедрение усовершенствованных технологий восстановления почв методом биоремедиации с применением сорбентов и биосорбентов, в частности «Унисорб-Био» – карбамидный сорбент типа «Унисорб» с иммобилизованной микрофлорой, обладающий комбинированным действием (сбор, сорбция нефти, перевод ее из объемного в пленочное состояние, наличие в составе биогенных компонентов (углерод, азот, фосфор, микроэлементы) и биокисление углеводородов *in situ*, в основе которого заложен принцип самоочищения нефтезагрязненных территорий с участием привнесенной микрофлоры и активированной аборигенной. Иммобилизация, помимо закрепления микроорганизмов в загрязненной экосистеме, способствует повышению ферментативной активности и устойчивости их к неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды и ускоряет процессы биодеградации нефтяных углеводородов [19, 20].

Наличие в биосорбенте «Унисорб-Био» целлюлозы, как основного компонента макулатуры, придает ему еще ряд ценных свойств: большая прочность пористой структуры и наличие дополнительного субстрата (целлюлозы) для почвенной биоты. Большое разнообразие свойств этого биосорбента является приоритетным показателем для применения его в качестве детоксицирующего агента по отношению к органическим загрязнителям (нефть и нефтепродукты) [21].

Истощение ресурсов экосистемы, связанное с нефтяным загрязнением, определенным образом влияет на видовой состав растительного сообщества. Наибольшей чувствительностью к содержанию нефти в почве обладают зерновые (особенно озимые) культуры и другие однодольные растения, а среди них – лугопастбищные; малочувствительным является клевер белый, а также некоторые растения из семейства крестоцветных [1], в то же время сорные растения оказываются более устойчивыми к антропогенным воздействиям вообще, и в частности к загрязнению почв нефтепродуктами [22–24].

Наиболее толерантными видами растений являются (по степени уменьшения нефтетолерантности): ежа сборная, полевица белая, тимофеевка луговая, овсяница луговая, костер безостый, бекмания восточная, а из бобовых – люпин многолетний, люцерна рогатый, клевер шведский, клевер луговой, ползучий [25].

Кроме того, эти растения, в особенности бобовые, способны создавать в прикорневой зоне особую микрофлору. Микроорганизмы ризосферы растений способны к деградации самых разнообразных загрязнителей, причем процессы разрушения токсичных веществ протекают здесь гораздо быстрее, чем в почве без растений [18].

Для осуществления мониторинга экологического состояния почв, в первую очередь, оценивают изменения интегральных показателей состояния почв, к которым относится биологическая активность, в частности оценка фитотоксичности [26].

Основными параметрами, изучаемыми в процессе биотестирования на фитотоксичность, являются всхожесть и энергия прорастания семян. Прорастание семян – наиболее уязвимый этап индивидуального развития высших растений, когда наблюдается минимальная устойчивость к неблагоприятным факторам и, соответственно, максимальная чувствительность к их воздействию. Эта фаза развития растения представляют собой наиболее привлекательный объект тестирования.

Цель работы – в модельных опытах установить влияние карбамидного биосорбента «Унисорб-Био», модифицированного макулатурой, на эффективность восстановления почв, с использованием в качестве фитоконтроля клевер розовый – шведский (*Trifolium hybridum*).

Экспериментальная часть

Объектами исследования были карбамидный сорбент «Унисорб-Био», модифицированный макулатурой, – 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 нефтеокисляющих штаммов *Pseudomonas sp.* и *Bacillus subtilis*. Условия получения модифицированных сорбентов приведены в [21]. В качестве биотеста оценки токсичности почвы использовали клевер розовый – шведский (*Trifolium hybridum*). Перед посевом семян почву подготавливали согласно методике [27].

Испытания проводили в нестерильных условиях, моделирующих естественные, в двух повторностях, в контейнерах с искусственно внесенной сырой нефтью в количестве – 10 и 15% ($\rho = 0.840 \text{ г/дм}^3$) от а.с.м почвы. Навеску нефтезагрязненной почвы 300 г помещали в контейнер, затем вносили 0.5 г сорбента «Унисорб-Био» с титром 10^9 кл/г. Почву увлажняли до относительной влажности 60%. Далее в почву вносили удобрения: нитрофоска (NPK) и диамофоска (NPK-10:26:26) в количестве 0.05 и 0.1% от массы почвы. После внесения всех компонентов производили тщательное перемешивание. Полив и рыхление почвы осуществляли через каждые семь дней. В качестве контроля использовали почву, загрязненную нефтью, без внесения биопрепарата и удобрений.

По истечении 18 недель экспонирования определяли остаточное содержание нефти и производили посев клевера розового, его вносили в почву по 50 шт. семян в каждый контейнер. Эффективность процесса биодеструкции оценивали гравиметрически по количеству остаточной нефти, извлеченной путем экстракции хлороформом общей смеси почвы, нефти и сорбента без их разделения [28]. Оценку энергии прорастания проводили на третьи сутки, всхожесть семян – на четвертые, седьмые и 16-е сутки после посева. Морфологическую оценку состояния растений проводили на 21-е сутки.

Обсуждение результатов

Нефть и нефтепродукты в зависимости от фракционного состава и количества оказывают различное токсическое, а некоторых случаях – стимулирующее действие на живые организмы [12, 28]. Изменение уровня токсичности нефтяного загрязнения в присутствии биосорбента обусловлено снижением уровня загрязнения в результате сорбции нефти сорбентом и ее деструкцией под воздействием иммобилизованной нефтеокисляющей микрофлоры [21]. В задачи эксперимента входило оценить модифицированные сорбенты с иммобилизованной бактериальной микрофлорой как биопрепараты для снижения уровня нефтяного загрязнения и восстановления почвы, а также влияние вида и концентрации азотно-фосфорных удобрений на всхожесть и энергию прорастания семян с использованием в качестве биотеста клевер розовый.

В таблице 1 приведены результаты по определению остаточного содержания нефти в почве после 18 недель экспонирования «Унисорб-Био», содержащего в качестве модифицирующего агента два вида макулатуры (бумага «Снегурочка» и газетная бумага), в которую и был проведен посев семян клевера розового.

Известно, что эффективность биоокисления углеводородов нефти зависит от условий, в которых осуществляется процесс. Как следует из результатов (табл. 1), на деструкцию углеводородов нефти в процессе экспонирования наиболее существенное влияние оказывают оба вида «Унисорб-Био».

Таблица 1. Содержание нефти в почве после 18 недель экспонирования «Унисорб-Био»

| Начальное содержание нефти в почве, % | Удобрение | | Содержание остаточной нефти, % от начального загрязнения |
|---------------------------------------|--------------|---------------|--|
| | Вид | Количество, % | |
| 10 | NPK | 0.05 | 10/10 |
| 10 | NPK-10:26:26 | 0.05 | 11/24 |
| 10 | NPK | 0.1 | 17/16 |
| 15 | NPK | 0.05 | 15/... |
| 15 | NPK-10:26:26 | 0.1 | 64/... |
| Контроль 10% | – | – | 86 |
| Контроль 15% | – | – | 89 |

Примечание: числитель – модифицирующий агент – бумага «Снегурочка»; знаменатель – газетная бумага.


По сравнению с контролем содержание остаточной нефти в образцах почвы с «Унисорб-Био» ниже в 6–9 раз. Кроме того, на содержание остаточной нефти в почве оказывает влияние вид и количество удобрения. Так, при использовании нитрофоски в экспериментах с 10%-ным начальным загрязнением для обоих видов «Унисорб-Био» степень утилизации нефти практически одинакова и составляет 90% при внесении удобрения в количестве 0.05%. Однако следует отметить, что с увеличением количества нитрофоски до 0.1% степень утилизации нефти снижается на 6–7%. Снижение степени утилизации нефти наблюдается и при применении диаммофоски (NPK-10:26:26), особенно в случае использования «Унисорб-Био» с макулатурой из газетной бумаги, она в этом случае ниже на 13%, чем при использовании в качестве модифицирующего агента макулатуры из бумаги «Снегурочка».

Кроме того, особенно существенна эта разница при 15%-ном начальном загрязнении почвы, где степень утилизации нефти в образцах с использованием биопрепарата с макулатурой из газетной бумаги составляет 36%, что практически в 6 раз ниже, чем при использовании диаммофоски в количестве 0.05%. Особенно негативно на восстанавливающую способность модифицированных сорбентов «Унисорб-Био» повлияло более высокое содержания в почве нефти, а также диаммофоски в количестве 0.1%. Так, при 15%-ном начальном содержании нефти в почве даже при использовании «Унисорб-Био», модифицированном макулатурой из бумаги «Снегурочка», с диаммофоской в количестве 0.1% содержание остаточной нефти в процессе экспонирования снизилось только на 36%, что сопоставимо с контролем. Повышенное содержание остаточной нефти связано, по-видимому, с недостаточным количеством вносимого в почву сорбента «Унисорб-Био», который вносили в одинаковом количестве по 0.5 г в каждый контейнер независимо от уровня загрязнения почвы и без учета его разрушаемости в процессе экспонирования. Для 10%-ного загрязнения этого количества оказалось практически достаточно, так как содержание нефти в почве в процессе экспонирования снизилось до 1%, а при 15%-ном загрязнении количество вносимого сорбента, по-видимому, следовало бы увеличить в 1.5 раза. Установление влияния количества вносимого сорбента на восстановление почвы и оценка ее токсичности должны быть предметом дальнейших исследований.

В контрольных образцах максимальное снижение уровня загрязнения почвы составило 14%. Наблюдаемое снижение возможно как за счет естественного испарения легких фракций нефти, так и за счет воздействия аборигенной микрофлоры, поскольку в модельных опытах использовали нестерильную почву.

О том, как почва с разным содержанием остаточной нефти влияет на некоторые посевные качества и морфологические показатели клевера розового, можно судить по результатам, приведенным в таблице 2.

Таблица 2. Влияние «Унисорб-Био» на посевные качества и морфологические показатели клевера розового при 10%-ном начальном загрязнении почвы

| Удобрение | | Энергия прорастания, % | Количество проросших семян, % | Всхожесть, % | | | Длина корня, см | Фото на седьмые сутки, вид макулатуры | |
|--------------|---------------|------------------------|-------------------------------|--------------|--------|---------|-----------------|---|---|
| Вид | Количество, % | | | 4 сут. | 7 сут. | 16 сут. | | «Снегурочка» | Газетная бумага |
| NPK | 0.05 | 62/80 | 65/82 | 62/82 | 65/82 | 65/82 | 3.3/5.0 |  |  |
| NPK-10:26:26 | 0.05 | 58/46 | 59/47 | 58/46 | 59/47 | 59/47 | 2.5/2.0 |  |  |
| NPK | 0.1 | 50/50 | 52/52 | 50/50 | 52/52 | 52/52 | 2.2/2.0 |  |  |
| NPK-10:26:26 | 0.1 | 34/40 | 35/41 | 34/40 | 35/41 | 35/41 | 2.0/2.1 | ... | ... |
| Контроль | | 6 | 6 | 6 | 12 | 12 | 1.5 |  |  |

Примечание: числитель – модифицирующий агент – бумага «Снегурочка»; знаменатель – газетная бумага.

Как следует из таблицы 2, более высокие посевные качества и морфологические показатели у клевера розового наблюдаются в образцах, в которых содержание нефти снизилось на 90%, в результате чего содержание остаточной нефти в почве составило 1%. О том, что это низкий уровень загрязнения, подтверждают результаты фитоконтроля. Так, в образцах почвы с «Унисорб-Био», модифицированным макулатурой из бумаги «Снегурочка», всхожесть семян составила 65%, а энергия прорастания – 62%, длина корня – 3.3 см, в образцах с сорбентом, модифицированным газетной бумагой, посевные качества выше на 20%, а длина корня – выше в 1.7 раза, что, по-видимому, связано с более благоприятными условиями роста и увеличением в почве подвижных форм азота и фосфора, обусловленным большей деструктируемостью последнего в условиях почвы. Подтверждением этого являются результаты экспериментов, проведенных нами ранее (данные не опубликованы), где было установлено, что в условиях почвенного эксперимента «Унисорб-Био», модифицированный макулатурой из газетной бумаги, больше подвержен деструкции, чем модифицированный макулатурой из бумаги «Снегурочка». У него в процессе экспонирования в почве убыль массы больше, чем у второго, на 14%, а общая пористость и сорбционная емкость ниже в 1.7 раза.

Следует отметить, что в обоих случаях у растений, наряду с хорошими посевными качествами, морфологические показатели тоже сравнительно хорошие: листья нормально сформированы, хороших размеров, количество листьев соответствует виду и достаточно развита корневая система.

Более низкие посевные качества и морфологические показатели клевер розовый проявил при применении диаммофоски. У «Унисорб-Био», модифицированного макулатурой из бумаги «Снегурочка», снижение показателей (по сравнению с нитрофоской) составляет 4–6%, а у модифицированного макулатурой из газетной бумаги показатели снижены в 1.7 раза, что, в первую очередь, связано с более высоким содержанием остаточной нефти на момент посева (табл. 1), а также, возможно, с вредным воздействием аммиачного азота на семена и корни растений при применении диаммофоски [29].

О том, как изменяются посевные качества и морфологические показатели клевера розового при использовании «Унисорб-Био» для биоремедиации почвы с 15%-ным загрязнением нефтью, свидетельствуют результаты, приведенные в таблице 3.

По данным фитоконтроля, приведенным в этой таблице, видно, что в условиях 15%-ного начального загрязнения почвы нефтью наиболее хорошие посевные качества и морфологические показатели имеет клевер розовый в образцах почвы с «Унисорб-Био», модифицированным макулатурой из бумаги «Снегурочка», и с использованием нитрофоски в количестве 0.05%, они практически мало отличаются от показателей фитоконтроля при 10%-ном начальном загрязнении. При использовании биосорбента, модифицированного макулатурой из газетной бумаги, все показатели ниже, что, по-видимому, связано с тем, что в образцах почвы более высокое содержание остаточной нефти, связанное с недостаточным количеством вводимого сорбента и приводящее к более существенным нарушениям воздушного и водного режима почвы.

Неполное восстановление почвы при 15%-ном начальном загрязнении ее нефтью с применением «Унисорб-Био», нитрофоски или диаммофоски с содержанием более 0.05%, связанное с высоким содержанием остаточной нефти (около 10%) в этих условиях экспонирования, подтверждают и результаты фитоконтроля. Из результатов таблицы 3 следует, что увеличение количества удобрения до 0.1% приводит к снижению энергии прорастания и всхожести на 4-е сутки в 10 раз. В этих образцах почвы внешний вид растений резко отличается некоторой ущербностью, недостатком вегетативной массы, истощенными побегами, количеством сформировавшихся листьев, а также слабой выраженностью корневой системы, как результат неблагоприятных почвенных условий и угнетающим действием остаточных углеводов.

Таким образом, на примере клевера розового показано, что между его посевными качествами и морфологическими показателями существует обратная связь, чем меньше содержание остаточной нефти в почве, восстановленной с применением сорбента «Унисорб-Био», модифицированного макулатурой, тем выше биологические показатели тест-культуры.

Таблица 3. Влияние «Унисорб-Био на посевные качества и морфологические показатели клевера розового при 15%-ном начальном загрязнении почвы

| Удобрение | | Энергия прорастания, % | Количество проросших семян, % | Всхожесть, % | | | Длина корня, см |
|--------------|---------------|------------------------|-------------------------------|--------------|--------|---------|-----------------|
| Вид | Количество, % | | | 4 сут. | 7 сут. | 16 сут. | |
| НПК | 0.05 | 60/20 | 62/40 | 60/20 | 62/40 | 62/40 | 3.0/2.1 |
| НПК | 0.1 | 6/6 | 36/24 | 6/6 | 36/24 | 36/24 | 2.1/2.0 |
| НПК-10:26:26 | 0.1 | 6/6 | 24/20 | 6/6 | 24/20 | 24/20 | 2.0/2.0 |
| Контроль | | – | – | – | 10 | 10 | 1.3 |

Примечание: числитель – модифицирующий агент – бумага «Снегурочка»; знаменатель – газетная бумага.

Выводы

1. Несмотря на высокое начальное загрязнение, использование биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов в иммобилизованном виде на сорбенте «Унисорб-Био», модифицированном вторичным растительным сырьем, за короткое время снижает фитотоксичность почвы, позволяя расти устойчивым видам растений, которые способны завершить процесс восстановления биоценоза путем естественного вовлечения загрязнителя в круговорот углерода.

2. Установлено, что максимально эффективным деструктором углеводородов сырой нефти является сорбент «Унисорб-Био», модифицированный макулатурой, с использованием нитрофоски в количестве 0.05%, что подтверждается результатами фитоконтроля.

3. Показано, что биологические показатели тест-культуры находятся в обратной зависимости от содержания остаточной нефти в почве, чем меньше содержание остаточной нефти в почве, восстановленной с применением сорбента «Унисорб-Био», модифицированного макулатурой, тем выше биологические показатели тест-культуры.

4. Для более эффективного восстановления загрязненных нефтью почв вносить сорбент «Унисорб-Био», модифицированный макулатурой, следует дифференцированно с учетом уровня загрязнения и его деструкции в почве.

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. Amadi A., Dickson A., Maate G.O. Remediation of oil polluted soils, effect of organic and inorganic nutrient supplements on the performance of the maize // *Water, air and soil pollution*. 1993. Vol. 66. Pp. 59–76.
4. Салахова Г.М. Изменение эколого-физиологических параметров растений и ризосферной микробиоты в условиях нефтяного загрязнения и рекультивации почвы: дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2007. 194 с.
5. Baldwin I.L. Modifications of the soil flora induced by applications of crude petroleum // *Soil Science*. 1922. Vol. 14. N6. Pp. 465–478.
6. 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.
7. Хазиев Ф.Х., Фатхиев Ф.Ф. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активация разложения нефти // *Агробиохимия*. 1981. №10. С. 102–111.
8. 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.
9. Яковлев А.Л., Савенок О.В. Нарушения экологической безопасности при интенсификации добычи нефти на месторождениях Краснодарского края // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2017. №1. С. 50–54.
10. Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Никонова А.Н. Химическое загрязнение и трансформация почв в районах добычи углеводородного сырья (обзор литературы) // *Почвоведение*. 2015. №11. С. 1505–1518. DOI: 10.7868/S0032180X1512014X.
11. Кузнецов А.Е. и др. *Прикладная экобиотехнология: учебное пособие*: в 2 т. М., 2017. Т. 2. 485 с.
12. Шамраев А.В., Шорина Т.С. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // *Вестник ОГУ*. 2009. №6 (100). С. 642–645.
13. Вальков В.Б. Биоремедиация: принципы, проблемы, походы // *Биотехнология*. 1995. №3-4. С. 20–27.
14. Артемов А.В., Пинкин А.А. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // *Вода: химия и экология*. 2008. №1. С. 19–25.
15. Сжабменов Е.В. Выбор активного микроорганизма-деструктора для очистки нефтезагрязненных почв // *Прикладная биохимия и микробиология*. 1995. Т. 31 (5). С. 534–539.
16. Коновалова Е.А., Лазыкин А.Г., Гаврилов К.Е. Сравнительная характеристика сорбентов, используемых в составе биопрепаратов для очистки почвы от нефтезагрязнений // *Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XXXIV междунар. науч.-практ. конф.* Новосибирск, 2016. №5(27). С. 6–17.
17. Халимов Э.Н., Левин С.В., Гузев В.С. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы // *Вестник МГУ*. 1996. №2. С. 59–64.
18. Иларионов С.А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв. Екатеринбург, 2004. 194 с.
19. Рязанова Т.В., Федорова О.С. Динамика микробиоценоза гетеротрофов в модельных опытах с применением биосорбента на основе смешанной бактериальной культуры // *Системы. Методы. Технологии*. 2017. №1(3). С. 157–164.

20. Рязанова Т.В., Федорова О.С. Получение биосорбента на основе аборигенной микрофлоры для очистки нефтезагрязненных территорий // Всероссийская научно-практическая конференция «Новые экологобезопасные технологии для устойчивого развития регионов Сибири». Улан-Удэ, 2005. С. 65–70.
21. 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: материалы VII Всероссийской конференции. Барнаул, 2017. С. 327–329.
22. Етеревская Л.В., Яранцева Л.Д. О влиянии на растения загрязнений почвы при бурении и разведке на нефть и газ. Киев, 1976. С. 73.
23. Зволинский В.П., Батовская Е.К., Черных Н.А. Влияние нефти и нефтепродуктов на свойства почв и почвенные микроорганизмы // Агрехимический вестник. 2005. №2. С. 22–25.
24. Зволинский В.П., Батовская Е.К., Бондаренко А.Н. Экология нефтезагрязненных почв европейской части России // Земледелие. 2007. №4. С. 13–14.
25. Зильберман М.В., Порошина Е.А., Зырянова Е.В. Биотестирование почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Пермь, 2005. 111 с.
26. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография. Ростов-на-Дону, 2016. 356 с.
27. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского государственного университета. Биология. 2007. Т. 5 (10). С. 134–141.
28. ПНД Ф 16.1.41-04. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом.
29. Рекомендации по использованию органических, минеральных макро- и микроудобрений, мелиорантов для выполнения обязательных мероприятий по улучшению земель сельскохозяйственного назначения в ростовской области. ФГУ ГЦАС «Ростовский» п. Рассвет, 2011. 35 с.

Поступила в редакцию 11 октября 2020 г.

Принята к публикации 25 ноября 2020 г.

Для цитирования: Рязанова Т.В., Федорова О.С. Влияние биосорбента «Унисорб-био», модифицированного макулатурой, на посевные качества клевера розового в условиях нефтяного загрязнения // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 443–450. DOI: 10.14258/jcprm.2020048672.

Ryazanova T.V., Fedorova O.S. INFLUENCE OF THE BIOSORBENT "UNISORB-BIO" MODIFIED BY WASTE PAPER ON THE SOWING QUALITIES OF PINK CLOVER IN THE CONDITIONS OF OIL POLLUTION*

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 uses the example of artificially polluted soil to consider the effect of urea sorbent-a biological product "Unisorb-Bio" modified by waste paper on the biodegradation of oil with subsequent phyto-control of the soil by a test culture of pink-Swedish clover (*Trifolium hybridum*).

It is shown that during 18 weeks of exposure "Unisorb-Bio" with immobilized on it the oil-oxidizing strains of *Pseudomonas* sp. and *Bacillus subtilis*, the oil content in the soil decreased by 10 times, which is on an order of magnitude higher to comparison with the control. High seeding qualities (germination energy, seed germination – 82%) are observed when using "Unisorb-Bio" modified waste paper from newsprint in conditions of 10% initial soil contamination, with a content of nitrophosca 0.05%.

In the soil with "Unisorb-Bio" modified waste paper from the paper "Snegurochka" the indicators are lower by 17–20% than in the soil samples with biologics product modified by waste paper from newsprint, which is probably perhaps is bound up with more the greater destructibility of the latter under these conditions and an increase of mobile forms of nitrogen and phosphorus in the soil.

The results of phytocontrol (germination energy, seed germination-52%) indicate a relatively good level of soil recovery with 15% initial contamination and almost independent of the type of biological product. The observed seeding quality and morphophysiological indicators give reason to conclude that the "Unisorb-Bio" biological product modified with waste paper is able to restore the soil even with a high level of contamination within one season.

Keywords: oil, soil, oil pollution, biological product "Unisorb-Bio", bioremediation, phytocontrol, pink clover - Swedish

* Corresponding author.

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. Dobrovolskiy. Moscow, 2002, 654 p. (in Russ.).
3. Amadi A., Dickson A., Maate G.O. *Water, air and soil pollution*, 1993, vol. 66, pp. 59–76.
4. Salakhova G.M. *Izmeneniye ekologo-fiziologicheskikh parametrov rasteniy i rizofernoy mikrobioty v uslo-viyakh neftyanogo zagryazneniya i rekul'tivatsii pochvy: dis. ... kand. biol. nauk*. [Changes in the ecological and physiological parameters of plants and rhizospheric microbiota under conditions of oil pollution and soil reclamation: dis. ... Cand. biol. sciences]. Ufa, 2007, 194 p. (in Russ.).
5. Baldwin I.L. *Soil Science*, 1922, vol. 14, no. 6, pp. 465–478.
6. Zvolinskiy V.P., Batovskaya Ye.K., Chernykh N.A. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2005, no. 2, pp. 22–25. (in Russ.).
7. Khaziyev F.Kh., Fatkhiyev F.F. *Agrokhimiya*, 1981, no. 10, pp. 102–111. (in Russ.).
8. 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.).
9. Yakovlev A.L., Savenok O.V. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, 2017, no. 1, pp. 50–54. (in Russ.).
10. Zamotayev I.V., Ivanov I.V., Mikheyev P.V., Nikonova A.N. *Pochvovedeniye*, 2015, no. 11, pp. 1505–1518. DOI: 10.7868/S0032180X1512014X. (in Russ.).
11. Kuznetsov A.Ye. i dr. *Prikladnaya ekobiotekhnologiya. Uchebnoye posobiye: v 2 t.* [Applied ecobiotechnology. Study guide: in 2 volumes]. Moscow, 2017, vol. 2, 485 p. (in Russ.).
12. Shamrayev A.V., Shorina T.S. *Vestnik OGU*, 2009, no. 6 (100), pp. 642–645. (in Russ.).
13. Val'kov V.B. *Biotekhnologiya*, 1995, no. 3-4, pp. 20–27. (in Russ.).
14. Artemov A.V., Pinkin A.A. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2008, no. 1, pp. 19–25. (in Russ.).
15. Szhabmenov Ye.V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1995, vol. 31 (5), pp. 534–539. (in Russ.).
16. Konovalova Ye.A., Lazykin A.G., Gavrilov K.Ye. *Nauka vchera, segodnya, zavtra: sb. st. po mater. XXXIV mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Science yesterday, today, tomorrow: collection of articles. Art. by mater. XXXIV int. scientific-practical conf]. Novosibirsk, 2016, no. 5(27), pp. 6–17. (in Russ.).
17. Khalimov E.N., Levin S.V., Guzev V.S. *Vestnik MGU*, 1996, no. 2, pp. 59–64. (in Russ.).
18. Ilarionov S.A. *Ekologicheskiye aspekty vosstanovleniya neftezagryaznennykh pochv*. [Ecological aspects of the restoration of oil-contaminated soils]. Ekaterinburg, 2004, 194 p. (in Russ.).
19. Ryazanova T.V., Fedorova O.S. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2017, no. 1(3), pp. 157–164. (in Russ.).
20. Ryazanova T.V., Fedorova O.S. *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Novyye ekologobezopasnyye tekhnologii dlya ustoychivogo razvitiya regionov Sibiri»*. [All-Russian scientific and practical conference "New environmentally friendly technologies for sustainable development of Siberian regions"]. Ulan-Ude, 2005, pp. 65–70. (in Russ.).
21. 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.).
22. Yeterovskaya L.V., Yarantseva L.D. *O vliyaniy na rasteniya zagryazneniy pochvy pri bureniy i razvedke na neft' i gaz*. [On the effect of soil pollution on plants during drilling and exploration for oil and gas]. Kiev, 1976, p. 73. (in Russ.).
23. Zvolinskiy V.P., Batovskaya Ye.K., Chernykh N.A. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2005, no. 2, pp. 22–25. (in Russ.).
24. Zvolinskiy V.P., Batovskaya Ye.K., Bondarenko A.N. *Zemledeliye*, 2007, no. 4, pp. 13–14. (in Russ.).
25. Zil'berman M.V., Poroshina Ye.A., Zyryanova Ye.V. *Biotestirovaniye pochv, zagryaznennykh neft'yu i nefteproduktami*. [Biotesting of soils contaminated with oil and oil products]. Perm', 2005, 111 p. (in Russ.).
26. Kazeyev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko Ye.V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem: monografiya*. [Biodiagnostic methods of terrestrial ecosystems: monograph]. Rostov-on-Don, 2016, 356 p. (in Russ.).
27. Nazarov A.V. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2007, vol. 5 (10), pp. 134–141. (in Russ.).
28. *PND F 16.1.41-04. Kolichestvennyy khimicheskyy analiz pochv. Metodika vypolneniya 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.).
29. *Rekomendatsii po ispol'zovaniyu organicheskikh, mineral'nykh makro- i mikroudobreniy, meliorantov dlya vypolneniya obyazatel'nykh meropriyatiy po uluchsheniyu zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v rostovskoy oblasti*. [Recommendations for the use of organic, mineral macro- and micronutrient fertilizers, ameliorants for the implementation of mandatory measures to improve agricultural land in the Rostov region]. FGU GTSAS «Rostovskiy» p. Rassvet, 2011, 35 p. (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. 443–450. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020048672.