

УДК 631.461:622.323:504

Т. И. Бурмистрова, Т. П. Алексеева, Н. Н. Терещенко, Л. Д. Стахина

РОЛЬ МИКРОБИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ТОРФА В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Статья посвящена исследованию свойств торфа и роли микробных сообществ при деструкции нефтяных углеводородов. Приведены результаты по получению и применению продуктов переработки торфа для решения задач практического природопользования. Показана эффективность действия полученных препаратов при ликвидации нефтяных загрязнений.

Ключевые слова: торф, мелиорант и сорбент торфяной, углеводородокисляющие микроорганизмы, нефть, рекультивация почв, деструкция нефтяных углеводородов, техногенные ландшафты.

Проблема защиты окружающей среды приобретает в последнее время глобальный характер. Одной из сложных и многоплановых проблем охраны окружающей среды является загрязнение природных объектов нефтью и продуктами ее переработки. Ни один другой загрязнитель, как бы опасен он ни был, не может сравниться с нефтью по широте распространения, количеству источников загрязнения, величине нагрузок на все компоненты природной среды при аварийных разливах нефти.

Деструкция нефти в почве – это сложный физико-химический и биохимический процесс, направленность и скорость которого зависят от комплекса прямых и косвенных факторов. К ним относятся климат, свойства и режимы почв, сезонная активность микрофлоры, влажность, концентрация и фракционный состав нефти в почве. Ведущую роль при рекультивации играют биологические факторы. Одним из важных условий биологического очищения почвы от нефти является степень функциональной активности почвенной микрофлоры [1].

Промышленные территории Западно-Сибирского региона характеризуются высокой степенью нефтяного загрязнения на фоне крайне неблагоприятных почвенно-климатических условий.

В последнее время большое внимание уделяется разработке способов биологической рекультивации нефтезагрязненных почв, в основе которых лежит активация процессов микробиологической деструкции нефти в почве [2, 3]. Одним из перспективных решений удаления нефти с водной поверхности является использование сорбционных и биосорбционных технологий, предусматривающих применение специальных нефтепоглощающих материалов [4, 5]. Продукты переработки торфа, используемые для ликвидации последствий нефтяного загрязнения, должны удовлетворять следующим требованиям: высокие эксплуатационные характеристики, достаточно простая технология получения и наличие необходимых сырьевых ресурсов, невысокая стоимость, биосферная совместимость, т. е. применение и утилизация отработанных материалов не должны приводить к повторному загрязнению окружающей среды. Проведенные нами исследования показали, что в достаточной степени

универсальностью свойств, отвечающих вышеперечисленным требованиям, обладает торф. Торф вследствие своей структуры и наличия углеводородокисляющей микрофлоры (УОМ) может служить как сорбентом нефтяных углеводородов, так и их деструктором. Численность УОМ в торфах в 4–5 раз превышает аналогичный показатель для почв. Кроме того, микроорганизмы торфа не являются антагонистами почвенных микроорганизмов [6].

В работе исследованы торфа различного видового состава, степени разложения, влажности, дисперсности. Анализ общей численности углеводородокисляющих микроорганизмов в нативном торфе и продуктах на его основе осуществляли посевом на агаризованную питательную среду, по минеральному составу соответствующую жидкой среде Мюнца [7]. При подсчете колоний наряду с общей численностью УОМ отдельно учитывали бациллы, бактерии, актиномицеты, дрожжи и микроскопические грибы (табл. 1).

Использование торфа для деструкции нефтяных углеводородов требует его активации путем внесения азотно-фосфорных удобрений с последующей инкубацией в мезофильном режиме в течение 3–7 сут. Активированный торф при внесении его в нефтяную среду обеспечивает возрастание общей численности УОМ по сравнению с их численностью в нативном торфе, а также расширение видового разнообразия активных бактериальных культур (табл. 2). Исследованные виды торфа после их активации практически не различаются как по общей численности УОМ, так и по численности активных бактериальных культур (р. *Bacillus* и *Pseudomonas*). Поэтому преимущественное использование какого-либо одного из них для создания мелиоранта представляется нецелесообразным. Для активации может быть использован любой торф влажности 55–70 % и минеральные добавки, содержащие азот и фосфор [8, 9].

Исследование эффективности торфяного мелиоранта, полученного из низинного древесно-осокового торфа, при рекультивации нефтезагрязненных почв проводили в производственном опыте на территории Нефтеюганского района ХМАО. Для проведения производственного опыта выбраны участки почвы с различным уровнем загрязнения нефтяными углеводородами (табл. 3).

Таблица 1

Численность углеводородокисляющих микроорганизмов в торфе, $r \times 10^6$ клеток в 1 г в.с.т.*

| Тип, вид торфа | Степень разложения, % | Влажность, % | Подвижные формы азота | | Общая численность | Активная культура р. Bacillus | Актиномицеты | Грибы |
|-----------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------|-------|
| | | | NH ₄ ⁺ | NO ₃ ⁻ | | | | |
| Низинный, осоковый | 30 | 65 | 91.5 | 144.5 | 2 229.4 | 8.90 | 0.08 | – |
| | | 10 | – | – | 0.1 | – | – | – |
| Низинный, древесно-осоковый | 25–30 | 68 | 33.9 | 92.8 | 1232.9 | 20.00 | – | 0.44 |
| Верховой, сфагнум-фускум | 5–10 | 63 | 68.7 | 11.8 | 552.4 | – | – | 2.30 |
| Низинный, осоково-гипновый | 20 | 70 | 126.7 | 11.1 | 628.6 | 1.03 | 1.19 | 0.80 |

Примечание: * в.с.т. – воздушно сухой торф.

Таблица 2

Численность углеводородокисляющих микроорганизмов в активированном торфе после его внесения в нефтяную среду, $r \times 10^8$ клеток в 1 г в.с.т.

| Тип, вид торфа | Общая численность | Активная культура р. Pseudomonas | Активная культура р. Bacillus | Актиномицеты | Грибы |
|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------|-------|
| Низинный, осоковый | 536.0 | 3.13 | 32.15 | 6.92 | – |
| Низинный, древесно-осоковый | 385.4 | 4.31 | 10.40 | 0.92 | 0.003 |
| Верховой, сфагнум-фускум | 522.1 | 5.09 | 5.41 | 10.20 | 0.370 |
| Низинный, осоково-гипновый | 561.6 | 10.52 | 21.52 | 1.20 | – |

Таблица 3

Изменения, произошедшие с нефтью под воздействием торфяного мелиоранта

| Вариант опыта | Сроки наблюдений | Содержание нефти, г/кг | | Степень очистки, % | Углеводородный индекс (K _i) | |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|---|----------|
| | | Весовой анализ | ИК-спектрометрический | | исходный | конечный |
| Контроль | начало опыта | 120.0 | 115.25 | | | |
| | спустя 3.5 мес. | 115.0 | 110.3 | 4 | 0.67 | 0.7 |
| 1 | начало опыта | 121.35 | 93.04 | | | |
| | спустя 3.5 мес. | 45.5 | 35.56 | 65 | 0.67 | 2.08 |
| 2 | начало опыта | 134.9 | 143.79 | | | |
| | спустя 3.5 мес. | 43.75 | 37.68 | 74 | 0.88 | 1.57 |
| 3 | начало опыта | 172.5 | 117.87 | | | |
| | спустя 3.5 мес. | 77.25 | 61.62 | 55 | 0.62 | 1.64 |
| 4 | начало опыта | 74.34 | 55.99 | | | |
| | спустя 3.5 мес. | 8.87 | 5.97 | 89 | 0.8 | 2.57 |

Примечание: $K_i = \frac{P + \Phi}{C_{17} + C_{18}}$, где P – пристан(изоалкан C₁₇); Φ – фитан(изоалкан C₁₈).

В начале опыта, после внесения торфяного мелиоранта, и в конце, спустя 3.5 мес., с почвенного горизонта глубиной 0–20 см были отобраны пробы на анализ. Эффективность торфяного мелиоранта оценивалась степенью деструкции нефтяных углеводородов

и динамикой численности УОМ. Количественное определение нефтяных углеводородов проводили двумя методами – весовым и ИК-спектрометрическим.

Результаты микробиологического анализа образцов почвы приведены в табл. 4.

Таблица 4

Численность УОМ в нефтезагрязненной почве, $r \times 10^6$ клеток в 1 г в.с.т.

| Вариант опыта | Общая численность | Бациллы | Бактерии | | Дрожжи | Кокки |
|--|-------------------|---------|---------------------|------------------------|--------|-------|
| | | | абсолютное значение | % от общей численности | | |
| Исходное состояние | | | | | | |
| 1 | 14.9 | 13.9 | 0.9 | 6.2 | 0 | 0 |
| 2 | 37.9 | 36.2 | 1.7 | 4.5 | 0.9 | 0 |
| 4 | 20.7 | 19.7 | 0 | 0 | 0.9 | 0 |
| После внесения мелиоранта | | | | | | |
| 1 | 17.9 | 15.7 | 2.1 | 12 | 0 | 0 |
| 2 | 25.7 | 23.4 | 2.3 | 9 | 0 | 0 |
| 3 | 210.5 | 185.1 | 0 | 0 | 25.3 | 0 |
| 4 | 45.2 | 37.8 | 5.4 | 12 | 0.1 | 1.8 |
| Через 3.5 мес. после внесения мелиоранта | | | | | | |
| 1 | 1019.5 | 733.6 | 285.9 | 28 | 0 | 0 |
| 2 | 217.6 | 161.0 | 56.6 | 26 | 0 | 0 |
| 3 | 814.5 | 692.3 | 122.2 | 15 | 0 | 0 |
| 4 | 18.0 | 12.6 | 5.4 | 13 | 0 | 0 |

В связи со сложностью состава торфа и зависимостью его физико-химических свойств от ряда факторов, с целью обоснования подхода к выбору торфяного сырья для создания нефтесорбентов на его основе проведены исследования по определению сорбционных свойств торфа (табл. 5). Нефтеемкость определяли весовым методом.

Исследование эффективности торфяного мелиоранта при рекультивации нефтезагрязненных почв показало, что во всех рассматриваемых вариантах за время проведения опыта с различной интенсивностью прошла деструкция нефтяных углеводородов (табл. 3). Самая высокая степень очистки отмечена в варианте с исходно низким уровнем нефтяного загрязнения (вар. 4) – 89 %, самая низкая (55 %) – в варианте с исходно высоким уровнем нефтяного загрязнения

(вар. 3). В контрольном же варианте без использования мелиоранта степень очистки за 3.5 весенне-летних месяца составила всего 4 %. Анализ изменений, произошедших в составе парафино-нафтеновых углеводородов, выделенных из нефтяных образцов рассматриваемых вариантов опыта, позволяет получить дополнительную характеристику эффективности торфяного мелиоранта. С этой целью использован коэффициент K^i , характеризующий интенсивность биохимических преобразований нефти. В отличие от контрольного варианта без использования торфяного мелиоранта, где за время проведения опыта коэффициент K^i практически не изменяется и по-прежнему остается меньше 1, в вариантах с использованием мелиоранта он увеличивается в 2–3 раза (табл. 3), что свидетельствует об активной деструкции n-алифатических углеводородов, являющихся наиболее токсичными для почвенной биоты.

Результаты микробиологического анализа показали следующее (табл. 4). Несмотря на то, что после внесения мелиоранта общее количество УОМ изменилось незначительно, отмечено увеличение в составе микробиоценоза доли неспорообразующих бактерий, что свидетельствует о снижении токсичности почвы. Исключение составляет вар. 3 с исходно высоким уровнем нефтяного загрязнения, где УОМ представлена исключительно спорообразующими бактериями и углеводородокисляющими дрожжами – микроорганизмами, способными образовывать покоящиеся формы и поэтому более устойчивыми к неблагоприятным условиям среды обитания. Спустя 3.5 мес. после внесения торфяного мелиоранта во всех

Таблица 5
Сорбционные свойства торфа

| Торф | Степень разложения, % | Размер частиц, мм | Нефтеемкость, г/г |
|--------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Сфагнум-фускум | 5–0 | <0.5 0.5–30 | 9.8 10.2 |
| Пушицево-сфагновый | 20 | <0.5 0.5–3.0 | 5.4 6.8 |
| Древесно-осоковый | 20–25 | <0.5 0.5–3.0 | 2.4 4.1 |
| Осоково-гипновый | 30 | 0.5–3.0 | 3.8 |
| Тростниковый | 60 | 0.5–3.0 | 2.3 |
| | 40 | 0.5–3.0 | 2.8 |

вариантах (кроме вар. 4 с исходно низким уровнем загрязнения) наблюдается заметное увеличение численности УОМ. Увеличение в составе УОМ доли неспорообразующих бактерий свидетельствует о снижении степени токсичности почвы и улучшении водно-воздушного режима.

Из исследованных торфов различного видового состава (табл. 5) наибольшей сорбционной способностью по отношению к нефти характеризуется верховой малоразложившийся торф моховой и травяной групп, с губчатой и волокнистой структурой [10]. Величина нефтепоглощения для этих видов торфа изменяется от 6.8 до 10.2 г/г. При переходе к другим видам торфа со средней (25–30 %) и высокой (40–60 %), которым при-

суща мелкозернистая структура, этот показатель уменьшается до 4.1 и 2.3 г/г соответственно.

Торф вследствие своей структуры и наличия углеводородокисляющей микрофлоры (УОМ) может служить как сорбентом нефтяных углеводородов, так и их деструктором. Сорбционная емкость торфа по отношению к нефти зависит от степени разложения и для верховых торфов составляет 8–10, для низинных 2–4 г нефти /1 г в.с.т.

В результате проведенных исследований разработаны препараты для ликвидации нефтяных загрязнений почвенной (мелиорант торфяной) и водной (сорбент торфяной) поверхностей. Действие мелиоранта торфяного характеризуется как полифункциональное.

Список литературы

1. Киреева Н. А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. М.: Наука, 1995. 178 с.
2. Голодков А. М., Лазарчик В. Е., Лазарчик В. М., Черкашина Н. Ф. Восстановление плодородия нарушенных почв с помощью биогумуса // Плодородие. 2003. № 1. С. 32–36.
3. Голодяев Г. П. Биохимическое окисление остаточных нефтепродуктов в почве // Нефтяное хозяйство. 1984. № 3. С. 29–32.
4. Бордунов В. В. и др. Очистка воды от нефти и нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2005. № 8. С. 8–10.
5. Сабгайда М. А., Фенаенов А. И. Новые углеродные сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов // Там же. № 12. С. 8–11.
6. Шишов В. А., Шеметов В. Ю., Рябченко В. И., Парфёнов В. П. Охрана окружающей среды в территориальном Западно-Сибирском комплексе // Обзорная информация. Сер. Борьба с коррозией и защита окружающей среды. М.: ВНИИОЭНГ. 1988. Вып. 6. 50 с.
7. Керстен Д. К. Морфологические и культуральные свойства индикаторных микроорганизмов нефтегазовой съемки // Микробиология. 1963. Т. 32. № 5. С. 1024–1030.
8. Патент 2137559 РФ. Способ очистки почвы от загрязнения нефтью и нефтепродуктами / Т. П. Алексеева, Н. Н. Терещенко, Т. И. Бурмистрова и др. // БИ. 1999. № 26.
9. Патент 2238807 РФ. Состав для очистки почвы от нефтяных загрязнений (варианты) / Т. П. Алексеева, Т. И. Бурмистрова, В. Д. Перфильева и др. // БИ. 2001. № 30.
10. Патент 2219134 РФ. Способ очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений / Т. И. Алексеева Т. И. и др. // БИ. 2003. № 35.

Бурмистрова Т. И., кандидат химических наук, зав. лабораторией, ученый секретарь.

СибНИИСХиТ СО Россельхозакадемии.

Ул. Гагарина, 3, г. Томск, Томская область, Россия, 634050.

E-mail: burmistrova@sibniit.tomsnet.ru

Алексеева Т. П., кандидат химических наук, ст. научный сотрудник.

СибНИИСХиТ СО Россельхозакадемии.

Ул. Гагарина, 3, г. Томск, Томская область, Россия, 634050.

Терещенко Н. Н., доктор биологических наук, доцент, зав. лабораторией.

СибНИИСХиТ СО Россельхозакадемии.

Ул. Гагарина, 3, г. Томск, Томская область, Россия, 634050.

Стахина Л. Д., кандидат химических наук, ст. научный сотрудник.

Институт химии нефти СО РАН.

Пр. Академический, 3, г. Томск, Томская область, Россия, 634021.

E-mail: sl@ipc.tsc.ru

Материал поступил в редакцию 17.02. 2010

T. I. Burmistrova, T. P. Alekseeva, N. N. Terestchenko, L. D. Stakhina

THE ROLE OF PEAT MICROBIAL COMMUNITIES IN THE DECISION OF ECOLOGICAL PROBLEMS

The article devoted researching characteristic of peat. It have been cited result of getting and application products from peat for solving nature management problem. It have been displayed effectivine being obtained chemicals with oil pollution elimination.

Key words: *peat, meliorant and sorbent based on peat, hydrocarbon-oxygenating microorganisms, petroleum, recultivated soils, biodegradation of oil, technological lands.*

Burmistrova T. I.

Siberian Scientific Research Institute of Agriculture and Peat.

Ul. Gagarina, 3, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634050.

E-mail: sibniit@mail.tomsknet.ru

Alekseeva T. P.

Siberian Scientific Research Institute of Agriculture and Peat.

Ul. Gagarina, 3, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634050.

Terestchenko N. N.

Siberian Scientific Research Institute of Agriculture and Peat.

Ul. Gagarina, 3, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634050.

Stakhina L. D.

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS.

Pr. Akademichesky, 3, Tomsk, Tomskaya oblast, Russia, 634021.

E-mail: canc@ipc.tps.ru