

УДК 631.86:631.61

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РЕМЕДИАЦИИ ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ

²Баландина А.В., ¹Еремченко О.З., ²Одегова Т.Ф., ²Кузнецов Д.Б.

¹Пермский государственный университет, Пермь, e-mail: eremch@psu.ru;

²Пермская государственная фармацевтическая академия, Пермь, e-mail: balandinaa1@mail.ru

К настоящему времени существует много методов биологической рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, однако по большей части меняются только используемые биологические и химические компоненты. Большое множество различных биопрепаратов, минеральных удобрений, нефтетолерантных трав дают возможность восстановить почвы самых различных видов. В настоящей работе представлены данные исследований по ремедиации дерново-карбонатных почв. В работе для рекультивации земель применялись разные компоненты: биогуmus, вермикомпост, дрожжевые культуры, навоз, биопрепарат «Альбит», агрохимический препарат «Байкал М1», диаммонийфосфат и известь. По данным исследований, наибольшую нефтедеградирующую способность в биоремедиации почвы загрязненной нефтью в дозах от 5 до 20 л/м² при периодическом рыхлении и поливе за 2 месяца летнего периода имеют штаммы дрожжевых культур. Уровень деградации нефти составил 47% по сравнению с контрольными образцами. Оптимальным вариантом биоремедиации является использование комплекса углеводородокисляющих микроорганизмов с биопрепаратом «Альбит», содержащим биохимически активные вещества, гидролизаты бактерий и элементы минерального питания.

Ключевые слова: биоремедиация, загрязнения нефтью, дерново-карбонатные почвы

RESULTS OF INVESTIGATIONS FOR REMEDIATION OF SOD-CALCAREOUS SOILS

²Balandina A.V., ²Eremchenko O.Z., ¹Odegova T.F., ²Kuznecov D.B.

¹Perm of state University, Perm, e-mail: eremch@psu.ru;

²Perm of state pharmaceutical academia, Perm, e-mail: e-mail: balandinaa1@mail.ru

To date, there are many methods of biological remediation of soils contaminated with oil and petroleum products, but for the most part are changed only used biological and chemical components. A large number of different biological, chemical fertilizers, grass oil-resistant allow the land to recover a wide variety of species. This paper presents the findings of research on remediation of calcareous soils. The paper used for land reclamation different components: vermicompost, worm castings, yeast culture, manure, biological product «album», the agrochemical composition «Baikal M1», diammonium phosphate and lime. According to most studies destruction of oil ability to bioremediation of soil contaminated with oil at doses of 5 to 20 litres/m² with occasional hoeing and watering for 2 months summer has strains of yeast cultures. Oil degradation level reached – 47% compared with control samples. The best option is to use a set of bioremediation of hydrocarbon-oxidizing microorganisms in biological product «Album» containing biochemically active substances bacteria of hydrolyzate and mineral nutrients.

Keywords: bioremediation, oil pollution, sod-calcareous soils

Большие площади вблизи нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и нефте-транспортирующих промышленных объектов заняты разливами нефти [10]. С января 2002 г. Закон «Об охране окружающей среды» повышает требования к охране окружающей среды при добыче и транспортировке нефти (ст. 46), в т.ч. требуя «проведения рекультивации нарушенных и загрязненных земель, снижения негативного воздействия на окружающую среду, возмещения вреда окружающей среде, причиненного в процессе строительства и эксплуатации объектов нефтегазодобывающих производств, объектов переработки, транспортировки, хранения и реализации нефти».

Нефтью загрязнены тысячи гектар по всей России, чем наносят серьезный вред окружающей среде [10]. В естественных условиях нефть залегают на больших глубинах и не оказывает влияния на почву. Загрязнение почв нефтью происходит в результа-

те антропогенной деятельности в районах нефтепромыслов, нефтепроводов, а также при перевозке нефти. Поэтому проблема нефтяных загрязнений весьма актуальна в настоящее время при активном развитии нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Одновременно в связи с ростом внимания к экологическому фактору, связанному с промышленной деятельностью, возрастает интерес и к вопросам рекультивации [1]. К сожалению, полностью очистить почву от нефти весьма трудно в связи с ее медленным разложением, и в почве всегда можно обнаружить некоторое количество остаточных нефтепродуктов.

Мелкоделяночный опыт

Опыты проведены на территории опытного участка Ильинского района Пермского края. Полевые исследования включали серию опытов в 2002–2004 гг.

Опыты заложены на свежезалежном участке на дерново-карбонатной тяжело-суглинистой почве. Пахотный слой имел серо-коричневую окраску, комковато-зернистую структуру и рыхлое сложение, тяжело-суглинистый гранулометрический состав, содержал кусочки извести. Переходный к породе горизонт красно-коричневой окраски, крупнозернистый, глинистый. Обилие плотных карбонатных включений отмечено с глубины около 40–50 см. Почвы, сформированные на пермских карбонатных породах, отнесены к категории редких почв и рекомендованы для включения в Красную книгу почв Пермского края [4].

Результаты определения показателей пахотного слоя [5] дерново-карбонатной почвы на опытном участке приведены в табл. 2. Дерново-карбонатная почва характеризуется

средним содержанием гумуса, слабокислой реакцией среды, средним содержанием подвижного фосфора и обменного калия [8].

Опыты по применению биопрепаратов, удобрений и извести

Динамика остаточного содержания нефти в дерново-карбонатной почве прослежена в 3 срока. Через месяц после загрязнения почвы нефтью наибольшее очищение почвы отмечено на варианте с использованием штаммов дрожжевых культур; относительно контрольного варианта деградация нефти составила 47% (табл. 1). На вариантах с биогумусом, вермикомпостом и «Альбитом» нагрузка нефти снизилась на 40%. Наименьшая деградация нефти отмечена на фоне внесения диаммонийфосфата и особенно извести (15%).

Таблица 1

Содержание нефти в почве по вариантам опыта

№ п/п	Вариант	Нефть, мг / кг		
		15.05.04	18.06.03	22.09.04
1	Фон	0	0	0
2	Нефть 20 л/м ²	200	191	180
3	Нефть 20 л/м ² + биогумус	119	116	100
4	Нефть 20 л/м ² + вермикомпост	119	114	101
5	Нефть 20 л/м ² + дрожжевые культуры	105	104	100
6	Нефть 20 л/м ² + навоз	141	138	120
7	Нефть 20 л/м ² + «Альбит»	118	112	91
8	Нефть 20 л/м ² + «Байкал М1»	136	130	120
9	Нефть 20 л/м ² + диаммонийфосфат	159	141	121
10	Нефть 20 л/м ² + известь	169	146	140

Весной 2004 г. отмечено дальнейшее снижение количества нефти по всем вариантам, включая контроль, на котором нагрузка нефти за счет естественного самоочищения снизилась на 4,5% (табл. 4). Скорость деструкции нефти снизилась на фоне дрожжевых культур, т.к. за год почти не изменилось количество нефти в почве. На вариантах с биопрепаратами (биогумус, вермикомпост, «Альбит») содержание нефти снизилось относительно начального уровня на 42–44%, очевидно, действие этих натуральных биопрепаратов обусловлено присутствием активных групп углеводородокисляющих микроорганизмов и биохимически активных веществ. В биогумусе и вермикомпосте это могут быть гуминовые кислоты – известные биостимуляторы. В препарате «Альбит» стимуляция микробиологической активности может быть связана с питательными элементами и биоактивными веществами. Затем следует эффективность навоза

и препарата «Байкал ЭМ1». Наименьшая деструкция по-прежнему характерна для вариантов с диаммонийфосфатом и известью, последняя не столько влияет на почву (дерново-карбонатная почва не нуждается в нейтрализации кислотности), сколько, по видимому, служит источником питательных элементов для микробиоты (Ca, Mg).

В сентябре 2004 г. под покровом трав прослежен продолжающийся процесс деградации нефти (табл. 4). Благодаря самоочищению (без микробной стимуляции) разрушено всего 10% нефти от исходного содержания. 50% нефти деградировано на фоне внесения биогумуса и вермикомпоста, 55% – «Альбита». Применение диаммонийфосфата, навоза и препарата «Байкал ЭМ1» привело к разрушению 40% нефти от исходного количества. Наименьший эффект оказало известкование – 30% от начального содержания нефти.

Таким образом, применение биопрепаратов и удобрений ускорило в не-

сколько раз деградацию нефти, благодаря их применению за 14–15 месяцев деградировано 40–50% нефти, внесенной на поверхность дерново-карбонатной почвы в количестве 20 л/м². По сравнению с контрольным вариантом содержание нефти в обрабатываемом слое по фону препарата «Альбит» снижено почти на 50%.

В сентябре 2004 г. были изучены некоторые агрохимические показатели дерново-карбонатной почвы. Внесение биопрепаратов, удобрений и извести существенно повлияло на актуальную кислотность (табл. 2), которая осталась в пределах нейтральной среды; тенденция к слабому подщелачиванию прослежена на фоне извести и диаммонийфосфата.

Таблица 2

Агрохимические показатели дерново-карбонатной почвы по вариантам опыта (22.09.2003 г.)

№ п/п	Площадка	pH _{вод}	C _{орг} , %	N-NO ₃ ⁻ , мг/100 г	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г
1	Фон	7,25	2,1	39,4	6,5	3,2
2	Нефть 20 л/м ²	7,40	-	90,2	6,6	3,5
3	Нефть 20 л/м ² + биогумус	7,32	12,0	26,67	7,65	4,00
4	Нефть 20 л/м ² + вермикомпост	7,30	11,8	26,7	7,6	4,0
5	Нефть 20 л/м ² + дрожжевые культуры	7,03	14,1	34,0	16,2	13,4
6	Нефть 20 л/м ² + навоз	7,08	16,5	195,7	13,8	10,8
7	Нефть 20 л/м ² + «Альбит»	7,44	10,1	69,5	15,1	12,1
8	Нефть 20 л/м ² + «Байкал ЭМ1»	7,26	9,6	17,7	10,2	7,2
9	Нефть 20 л/м ² + диаммонийфосфат	7,70	13,2	103,8	11,4	8,9
10	Нефть 20 л/м ² + известь	7,60	17,2	64,6	12,2	9,8

Фоновое содержание органического углерода в залежной дерново-карбонатной почве составляло 2,1% (табл. 5). В результате внесения нефти все варианты опыта были обогащены органическим углеродом. Через 4 месяца с начала ремедиации наибольшее количество органического углерода отмечено на фоне извести и навоза; в первом случае это результат замедленного разложения нефти (см. табл. 4), а во втором – также следствие внесения органического удобрения. Меньшим содержанием органического углерода (9–12%) характеризовались варианты с биопрепаратами «Альбит», «Байкал ЭМ1», биогумус и вермикомпост, что отразило повышенную скорость деградации нефти.

Количество подвижных нитратов сильно варьировалось по вариантам опыта. Содержание их в почве – интегральный результат микробиологических процессов трансформации минеральных соединений, разложения органических соединений и потребления растениями. Загрязнение нефтью увеличило количество нитратов относительно фона более чем в 2 раза. Вероятно, накопление нитратов – это результат, прежде всего, их внесения с нефтью, т.к. процессы азотфиксации и нитрификации подавляются при нефтезагрязнении [2, 9]. Слабо развитый травянистый покров ограничено потребляет почвенные нитраты. Повышенным количеством нитратов отмечена почва

на вариантах с применением навоза и диаммонийфосфата, содержащих соединения азота в органической и/или минеральной формах. Количество нитратов на вариантах с применением препаратов биогумус, «Альбит», «Байкал ЭМ1», дрожжевые культуры, вермикомпост и известь ниже фона, вероятно, в почве сформировался замкнутый круговорот использования азотных соединений растениями и микроорганизмами.

Минимальное содержание подвижных фосфатов установлено в фоновой дерново-карбонатной почве и нефтезагрязненной почве (табл. 5). Количество подвижного фосфора было повышено на вариантах применения биопрепаратов, и в основном это связано с присутствием в них этого питательного элемента. В слабощелочных почвах подвижность и доступность фосфатов для растений понижена, поэтому особенно важно отметить, что ускоренная деградация нефти микроорганизмами не обеднила почву этим подвижным соединением.

Похожую картину показало количество подвижного калия в дерново-карбонатной почве по вариантам опыта; меньше всего его запасы в незагрязненной и загрязненной почве без использования биопрепаратов, извести и удобрений (табл. 2).

Бенз(а)пирен относят к веществам канцерогенного действия; он может накапливаться в почвах, испытавших загрязнение нефтью и нефтепродуктами [6, 7]. Иссле-

дования показали наибольшее его содержание в нефтезагрязненной почве, а также в нефтезагрязненной почве с внесением диаммонийфосфата и извести вследствие ослабленного процесса деградации нефти (табл. 3). Заметно ниже количество бенз(а)

пирена на вариантах с дрожжевыми культурами и навозом, биогумусом и вермикомпостом. В три раза меньше его содержание с применением препаратов «Альбит» и «Байкал ЭМ1» по сравнению с нефтезагрязненной почвой.

Таблица 3

Продуктивность зеленой массы трав и количество бенз(а)пирена в почве по вариантам опыта (22.09.2003) г.

Вариант	Бенз(а)пирен, нг/г почвы	Продуктивность зеленой массы, кг/м ²
Нефть 20 л/м ²	18,96	8,0
Нефть 20 л/м ² + биогумус	5,12	15,0
Нефть 20 л/м ² + вермикомпост	6,22	15,0
Нефть 20 л/м ² + дрожжевые культуры	8,87	16,0
Нефть 20 л/м ² + навоз	9,86	14,0
Нефть 20 л/м ² + «Альбит»	4,82	17,5
Нефть 20 л/м ² + «Байкал ЭМ1»	4,91	16,4
Нефть 20 л/м ² + диаммонийфосфат	17,80	12,3
Нефть 20 л/м ² + известь	15,86	10,2

Продуктивность сеяных трав отражает общую картину биodeградации нефти по вариантам опыта (табл. 3). Ниже всего их продуктивность на контроле с одной нефтью, что может быть обусловлено как токсичностью самой нефти, так и изменениями в составе микробоценозов, в том числе возрастанием частоты встречаемости и обилия фитотоксичных микромицетов [3]. Затем следуют варианты с применением извести, диаммонийфосфата и навоза. Самая высокая продуктивность трав отмечена на вариантах с биопрепаратами биогумус и вермикомпост и особенно с препаратами «Альбит» и «Байкал ЭМ1»; на фоне последних она увеличилась в 2 раза относительно варианта с контрольным загрязнением почвы.

Для выбора наиболее эффективного варианта микробной ремедиации нефтезагрязненной дерново-карбонатной почвы был использован метод математической оптимизации. Из каждой выборки показателей состояния почвы ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$) по всем вариантам опыта выбирался экстремум – минимальное (x_{\min}) или максимальное (x_{\max}) значение (приложение 1). Для показателей pH, содержания органического углерода, нефти и бенз(а)пирена были выбраны минимальные значения; а для подвижных фосфатов, калия и продуктивности

трав – максимальные значения экстремумов. Относительно экстремума рассчитали нормированные значения показателей: $x_k = x_{\min}/x_n$, или $x_k = x_n/x_{\max}$. Сложили нормированные значения показателей и получили критерий оптимизации по каждому варианту ремедиации (табл. 4). При данном подходе был учтен комплекс экологически важных показателей, отражающих состояние нефтезагрязненной почвы в процессе микробной ремедиации. Исходя из критериев оптимизации по комплексу изученных показателей, лучшими являются варианты микробной ремедиации нефтезагрязненной дерново-карбонатной почвы с применением биопрепаратов «Альбит», «Байкал ЭМ1» и дрожжевых культур.

Выводы

В дерново-карбонатной почве, загрязненной нефтью в дозах от 5 до 20 л/м², на фоне периодического рыхления и полива за 2 месяца летнего периода отмечено 40–50%-е разрушение нефти благодаря активизации пула углеводородокисляющих микроорганизмов биопрепаратом «Альбит», содержащим биохимически активные вещества и элементы минерального питания. Экологическое состояние почвы, подвергнутой ремедиации, позволило получить всходы и создать покров из злаков.

Таблица 4

Нормированные значения показателей по вариантам ремедиации, пос. Ильинский, опыты 2002–2004 гг.

Вариант	Параметр									Критерий оптимизации
	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	C _{орг}	Продуктивность	Нефть I	Нефть II	Нефть III	Бенз(а)-пирен	
Нефть 20 л/м ² + биогумус	0,47	0,30	0,66	0,80	0,86	0,53	0,54	0,50	0,94	5,6
Нефть 20 л/м ² + вермикомпост	0,49	0,39	0,19	0,81	0,86	0,88	0,90	0,91	0,77	6,2
Нефть 20 л/м ² + дрожжевые культуры	1,00	1,00	0,52	0,68	0,91	0,88	0,91	0,90	0,54	7,34
Нефть 20 л/м ² + навоз	0,85	0,78	0,09	0,58	0,80	1,00	1,00	0,91	0,49	6,50
Нефть 20 л/м ² + «Альбит»	0,93	0,90	0,25	0,95	1,00	0,74	0,75	0,76	1,00	7,28
Нефть 20 л/м ² + «Байкал М1»	0,63	0,54	1,00	1,00	0,94	0,89	0,93	1,00	0,98	7,91
Нефть 20 л/м ² + диаммонийфосфат	0,70	0,67	0,17	0,73	0,70	0,77	0,8	0,76	0,27	5,76
Нефть 20 л/м ² + известь	0,75	0,73	0,27	0,56	0,58	0,66	0,74	0,75	0,30	5,34

Примечание. Нефть I – содержание нефти в почве 18.06.2003 г., нефть II – содержание нефти 15.05.2004 г., нефть III – содержание нефти 22.09.2004 г.

Список литературы

1. Очистка окружающей среды от углеводородных загрязнений / В.Ж. Арнс, А.З. Саушин, О.М. Гридин, А.О. Гридин. – М.: Изд-во «Интербук», 1999.
2. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах. – М.: МГУ, 1996.
3. Гриценко А.И., Аكوпова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. – М.: Наука, 1997.
4. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края. – Пермь, 2010.
5. Золотова Ю.А. Основы аналитической химии. – М.: Высшая школа, 1996.
6. Орлов Д.С., Аммосова Я.М. Методы контроля почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Почвенно-экологический мониторинг. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
7. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Изд-во «Высшая школа», 2002.
8. Пиковский Ю.И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах. // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М., 1988.
9. Солнцева Н.П., Садов А.П. Закономерности миграции нефти и нефтепродуктов в почвах лесотундровых ландшафтов Западной Сибири // Почвоведение. – 1998. – № 8.
10. Трофимов С.Я. Рекультивация и инвентаризация загрязненных земель // Экология производства. – 2006. – № 3.

References

1. Arens V.Zh., Saushin A.Z., Gridin O.M., Gridin A.O. Ochistka okruzhajushhej sredy ot uglevodorodnyh zagrjaznenij. Izd-vo «Interbuk», 1999.

2. Gennadiev A.N., Pikovskij Ju.I. Geohimija policiklicheskikh aromaticheskikh uglevodorodov v gornyporodah i pochvah. M.: MGU, 1996.
3. Gricenko A.I., Akopova G.S., Maksimov V.M. Jekologija. Neft' i gaz. M.: Nauka, 1997.
4. Eremchenko O.Z., Fil'kin T.G., Shestakov I.E. Redkie i ischezajushhie pochvy Permskogokraja Perm' 2010.
5. Zolotova Ju.A. Osnovy analiticheskoy himii. M.: Vysshajashkola, 1996.
6. Orlov D.S., Ammosova Ja.M. Metody kontrolja pochv, zagrjaznen nyhneft'ju i nefteproduktami // Pochvenno-jekologicheskiy monitoring. M.: Izd-vo MGU, 1994
7. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaja I.N. Jekologija i ohrana biosfery pri himicheskom zagrjaznenii. M.: Izd-vo «Vysshaja shkola», 2002.
8. Pikovskij Ju.I. Transformacija tehnogennyh potokov nefti v pochvennyh ekosistemah. // Vosstanovlenie neftezagrjaznennyh pochv ennyh ekosistem. M., 1988.
9. Solnceva N.P., Sadov A.P. Zakonomernosti migracinefti i nefteproduktov v pochvah lesotundrovyh landshaftov Zapadnoj Sibiri // Pochvovedenie. 1998. no. 8.
10. Trofimov S.Ja. Rekul'tivacija i inventarizacija zagrjaznennyh zemel' // Jekologija proizvodstva. 2006. no. 3.

Рецензенты:

Глушков В.А., д.х.н., доцент, ФГБУН «Институт технической химии» УрО РАН, г. Пермь;
 Леснов А.Е., д.х.н., профессор кафедры экологии Пермской государственной сельскохозяйственной академии имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь.
 Работа поступила в редакцию 01.08.2013.