

УДК 502.55:622.276

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛУГОВО-АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© 2008 Р.Р. Сулейманов¹, Т.А. Абдрахманов², З.А. Жаббаров², Л.Т. Турсунов²

¹Институт биологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

²Национальный университет Узбекистана, г. Фергана

Изучена трансформация биологических и агрохимических свойств лугово-аллювиальной почвы в условиях нефтяного загрязнения. Показано изменение активности почвенных ферментов (каталаза, инвертаза и уреазы) и снижение содержания подвижных форм фосфора и калия, а так же валового азота; наблюдается подкисление почвенного раствора. Однако внесение ассоциации углеводородокисляющих бактерий на фоне минеральных удобрений в нефтезагрязненную почву способствует снижению содержания нефтепродуктов на 18-82%, что приводит к улучшению изученных свойств почвы.

Введение

В последнее время ландшафты нефтяных месторождений испытывают все возрастающее негативное воздействие в связи с интенсификацией добычи нефти. В условиях интенсивной нагрузки важнейшей задачей экологических исследований является оценка состояния почвенного покрова. Биодиагностика и биомониторинг почв позволяет оценить их плодородие и выявить негативные последствия загрязнения почв. Многолетними исследованиями показана высокая эффективность диагностики почвенного покрова биохимическими методами, в частности, с помощью показателей ферментативной активности. Доказана ведущая роль показателей ферментативной активности при оценке влияния нефтяного загрязнения на экологическое состояние почв [6, 7, 12, 10].

В нефтезагрязненных почвах наблюдается также изменение и агрохимических свойств. В первую очередь происходит увеличение содержания органического углерода, что в свою очередь приводит к увеличению соотношения C:N и соответственно ухудшению азотного режима почв. Происходит подавление процессов нитрификации и уменьшение содержания подвижных форм фосфора и калия, что в конечном итоге приводит к потере почвенного плодородия [2, 10].

Поскольку на современном уровне разви-

тия нефтедобывающей промышленности не представляется возможным исключить ее общее воздействие на окружающую среду, возникает необходимость разработки методов и технологий восстановления почв, загрязненных нефтью. В связи с разнообразием почвенно-климатических условий, физико-химических свойств добываемой нефти и стоимости мероприятий по рекультивации, проблема поиска оптимальных и адаптированных к конкретным условиям методов остается весьма актуальной.

Объекты и методы исследований

Почвенные образцы с различным уровнем нефтяного загрязнения были отобраны на лугово-аллювиальной почве расположенной в долине реки Сыр-Дарья в пределах территории нефтяного месторождения «Мингбулак» (Узбекистан) с глубины 0-30 см от центра месторождения в северо-восточном направлении через 0,1; 0,8; 1,5; 5; 8; 12; 20 километров. В качестве фонового выбирался участок без видимого загрязнения, однако проведенный анализ на содержание нефтепродуктов показал их незначительное наличие (табл. 1). Но поскольку содержание находится в пределах допустимого санитарно-гигиенического норматива (по содержанию нефтепродуктов до 1 г/кг уровень загрязнения считается допустимым, а от 1 до 2 г/кг - низким) [8], то

данный участок можно условно принять как незагрязненный фон.

Из отобранных на территории нефтяного месторождения нефтезагрязненных почвенных образцов были выделены штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов, значительная часть которых была представлена родами *Pseudomonas* и *Bacillus*. Ассоциация бактерий культивировалась в среде Раймонда [5] до 10^8 кл/мл и внесена в нефтезагрязненную почву в местах отбора проб с целью рекультивации. Совместно с ассоциацией углеводородокисляющих микроорганизмов были внесены минеральные удобрения из расчета $N_{120}P_{80}K_{30}$ кг/га.

Агрохимические показатели почв определялись согласно руководства [1]. Активность ферментов – уреазы по Галстяну, каталазы по Кругловой и Пароменской, инвертазы по Хазиеву [11].

Содержание нефтепродуктов определяли весовым методом после экстракции углеводородов из навески почвы горячим гексаном на аппарате Сокслета [9].

Повторность опыта – четырехкратная. Полученные результаты обрабатывались статистически [4], в графиках и таблицах приведены средние данные.

Результаты и их обсуждение

При проведении обследования территории нефтяного месторождения было выявлено, что наиболее сильное влияние добыча нефти на почвенный покров оказывает в центральной части месторождения, где расположено наибольшее количество добывающих и нагнетательных скважин, что выражается в максимальном содержании нефтепродуктов (174,0; 160,34; 131,0 г/кг). По мере продвижения на северо-восток влияние нефтедобычи постепенно ослабевает, достигая своего минимума на расстоянии 20 км от центра (1,21 г/кг) (рис. 1).

Как известно, активность ферментов является чутким индикатором уровня загрязненности почв. Уровень активности окислительно-восстановительных ферментов (каталаза, дегидрогеназа) – один из критериев самоочищающейся способности почвы от нефтяных

углеводородов. Каталаза, осуществляющая катализ реакции разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород, приносит доступный активный кислород микроорганизмам, участвующим в процессах разложения нефти (Исмаилов, 1988).

В данном конкретном случае результаты исследований показали, что активность каталазы, в пределах изученных уровней загрязнения, находилась в линейной зависимости от содержания нефтепродуктов, снижалась по мере увеличения их концентрации и имела уравнение следующего вида: $y=0,95-0,003x$ при $r^2 = 0,91$; $r = -0,95$ при $p = 0,0008$ (рис. 2).

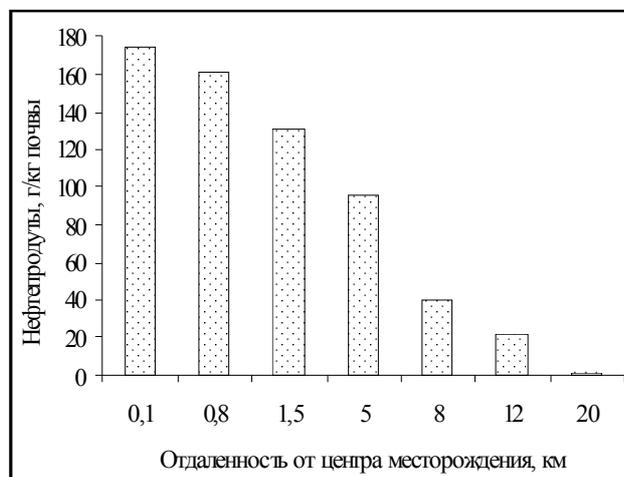


Рис. 1. Содержание нефтепродуктов в лугово-аллювиальной почве на изученных участках

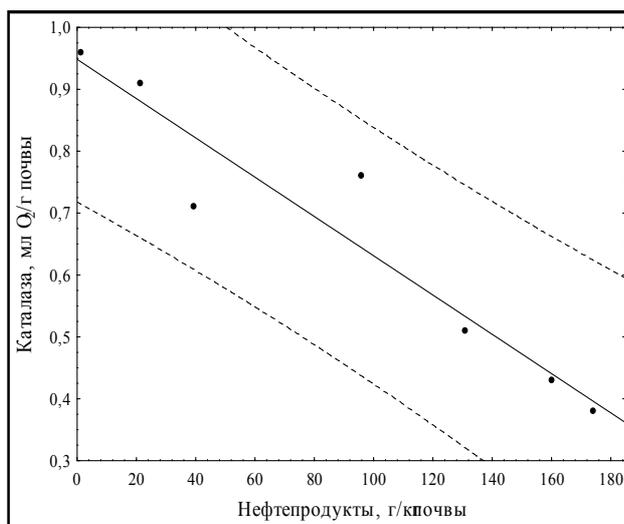


Рис. 2. Изменение активности каталазы в зависимости от содержания нефтепродуктов

Инвертаза, фермент, относящийся к классу гидролаз, участвует в трансформации углеводов и определяется жизнедеятельностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов, играющих большую роль в деструкции углеводородов нефти (Киреева и др., 2001). Активность инвертазы также как и каталазы, зависела от уровня загрязнения и находилась в линейной зависимости от содержания нефтепродуктов в почве ($y=0,82-0,004gx$ при $r^2=0,97$; $r=-0,98$ при $p=0,00006$) (рис. 3).

Активность уреазы является одним из важнейших показателей биологической активности почв (Галстян, 1978) и, как правило, в нефтезагрязненных почвах наблюдается ее повышение вследствие увеличения содержания органического углерода, установления восстановительных условий, наличия парафиновых углеводородов (Исмаилов, 1988; Киреева и др., 2001). Однако, как видно из рисунка 4 до уровня содержания нефтепро-

дуктов в 131 г/кг ее активность отмечалась повышенной по сравнению с фоновой почвой, что соответствует литературным данным, однако в данном случае более высокие концентрации поллютанта оказали ингибирующее воздействие. Соответственно уравнение зависимости имело следующий вид: $y=0,54+0,006gx$ при $r=0,83$ при $p=0,02$.

В результате нефтяного загрязнения произошло также и изменение агрохимических свойств лугово-аллювиальной почвы. По сравнению с фоновым участком наблюдалось подкисление почвенного раствора в пределах 0,8-1,6 единиц рН, что вероятно связано с рН самой нефти, в целом снизилось содержание подвижных форм фосфора и калия. Незначительно снизилось и содержание общего азота при некотором его увеличении на участке 5 км по сравнению с фоном, что очевидно связано с некоторой неоднородностью изучаемого почвенного покрова (табл. 1).

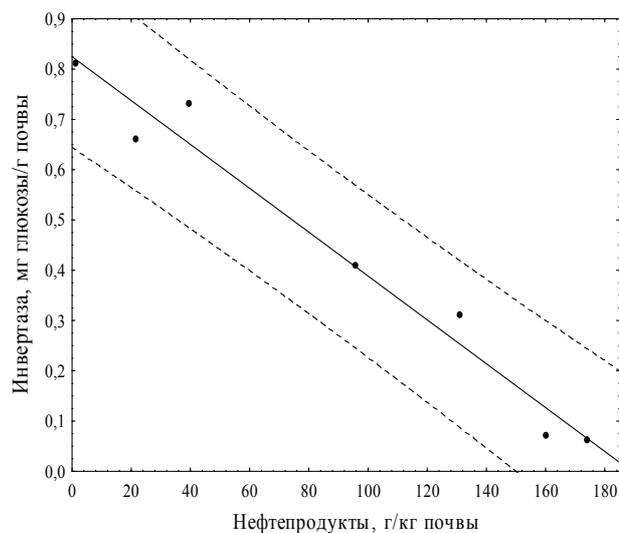


Рис. 3. Изменение активности инвертазы в зависимости от содержания нефтепродуктов

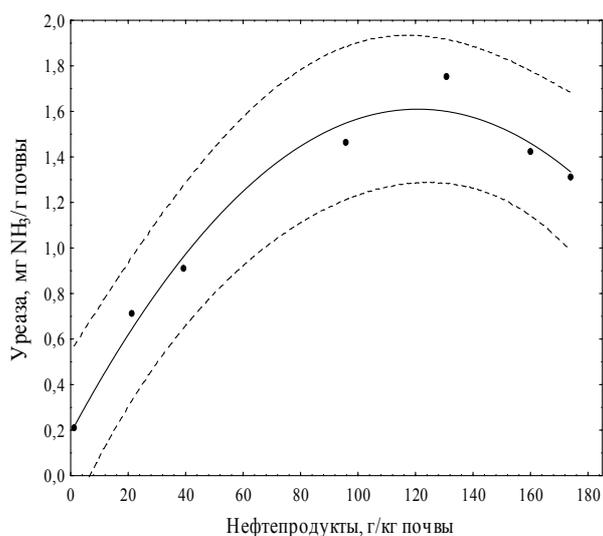


Рис. 4. Изменение активности уреазы в зависимости от содержания нефтепродуктов

Проведенные рекультивационные мероприятия на изученных участках включающие в себя внесение углеводородокисляющих микроорганизмов на фоне минеральных удобрений способствовали достоверному снижению содержания нефтепродуктов через шесть месяцев после начала эксперимента ($t=5,36$; $p=0,0017$ при $p<0,05$). Однако уровень деструкции нефтепродуктов был не везде одина-

ковым (табл. 1). Наибольшее снижение содержания нефтепродуктов наблюдалось на менее загрязненных участках, что объясняется не высоким уровнем и относительно небольшими сроками загрязнения. Низкая интенсивность деструкции нефтепродуктов вероятно была связана с тем что, участки, находящиеся в центре нефтяного месторождения, подверглись загрязнению в первые мо-

Таблица 1. Изменение содержания нефтепродуктов и степень очистки (%), pH H₂O, общий азот, подвижные формы фосфора и калия в зависимости от расстояния от центра месторождения (до и после рекультивационных мероприятий)

Отдаленность от центра месторождения, км	Изменение содержания нефтепродуктов (г/кг) и степень очистки (%)			pH H ₂ O		Азот общий, %		P ₂ O ₅ подв., мг/кг		K ₂ O подв., мг/кг	
	до	после	%	до	после	до	после	до	после	до	после
0,1	174,00	143,40	17,60	5,4	5,9	0,044	0,053	29	32	221	247
0,8	160,34	129,60	19,17	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
1,5	131,00	102,01	22,13	5,8	6,0	0,050	0,057	31	34	245	249
5	96,04	61,32	36,15	6,2	6,5	0,078	0,089	41	48	268	275
8	39,50	17,19	56,48	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
12	21,53	4,87	77,38	6,2	6,3	0,055	0,062	31	33	248	256
20	1,21	0,22	81,82	7,0	7,0	0,059	0,064	35	37	257	266

менты начала обустройства скважин и добычи нефти. Следовательно, фракционный состав нефтепродуктов в основном состоит из более «тяжелых» фракций углеводородов нефти, которые наиболее трудно поддаются микробиологическому разложению, а наиболее доступные «легкие» фракции или успели улечься и разложиться под влиянием «аборигенной» углеводородокисляющей микрофлоры.

Не смотря на это, снижение содержания нефтепродуктов на фоне внесения минеральных удобрений способствовало достоверному повышению активности всех изученных ферментов: каталазы ($t=-4,90$; $p=0,0027$), инвертазы ($t=-5,78$; $p=0,0012$) и уреазы ($t=-3,58$; $p=0,011$) при $p<0,05$ соответственно (табл. 2). Повышение активности изученных ферментов свидетельствует о способности лугово-аллювиальной почвы к восстановлению нарушенного биохимического равновесия.

Также произошло улучшение и агрохимических свойств – наметилась тенденция сдвига pH в сторону щелочного плеча, повышение содержания подвижных форм фосфора и калия, а так же валового азота (табл. 1).

Таким образом, проведенные исследования показали, что наиболее загрязненной является центральная часть нефтяного месторождения, по мере продвижения на северо-восток влияние нефтедобычи прослеживается на расстоянии до 20 км.

Загрязнение почвенного покрова нефтью приводит к изменению ферментативной активности. Снижение активности каталазы и инвертазы находится в линейной зависимости от содержания нефтепродуктов. Уреаза неоднозначно реагирует на уровень загрязнения нефтью: до содержания в почве 131 г/кг нефтепродуктов наблюдается повышение ее активности, при более высоких концентрациях – снижение.

Таблица 2. Изменение ферментативной активности нефтезагрязненной лугово-аллювиальной почвы (до и после рекультивационных мероприятий)

Отдаленность от центра месторождения, км	Каталаза, мп О ₂ /г почвы		Инвертаза, мг глюкозы/г почвы		Уреаза, мг NH ₃ /г почвы	
	до	после	до	после	до	после
0,1	0,38	0,52	0,062	0,12	1,31	1,87
0,8	0,43	1,08	0,071	0,47	1,42	1,93
1,5	0,51	0,77	0,31	0,71	1,75	1,96
5	0,76	0,95	0,41	0,96	1,46	1,76
8	0,71	1,05	0,73	1,38	0,91	1,07
12	0,91	1,17	0,66	1,21	0,71	1,00
20	0,96	1,45	0,81	1,52	0,21	1,34

Загрязнение почвы нефтью приводит и к ухудшению изученных агрохимических

свойств – снижению содержания подвижных форм фосфора на 11-17%, калия на 4-14%, валового азота на 7-25%, подкислению почвенного раствора по сравнению с фоновой почвой.

Проведение рекультивационных мероприятий, включающих в себя внесение в загрязненную почвы углеводородокисляющих мик-

роорганизмов на фоне минеральных удобрений, способствует снижению содержанию нефтепродуктов на 18-82% в зависимости от уровня начального загрязнения, повышению ферментативной активности, а так же увеличению содержания подвижных форм фосфора и калия, валового азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука. 1976.
2. Габбасова И.М. Деградация и рекультивация почв Башкортостана / Под редакцией чл.-корр. АН РБ Ф.Х. Хазиева. Уфа: Гилем, 2004.
3. Галстян А.Ш. Унификация методов определения активности ферментов почв // Почвоведение. 1978. № 2.
4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995.
5. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: МГУ, 1980.
6. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988.
7. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахова А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. Уфа: Гилем, 2001.
8. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. М., 1993.
9. Современные методы исследования нефтей / Отв. ред. Богомоллов А.И. Л.: Недра, 1984.
10. Сулейманов Р.Р., Габбасова И.М., Ситдиқов Р.Н. Изменение свойств нефтезагрязненной серой лесной почвы в процессе биологической рекультивации // Известия РАН. Серия биологическая. 2005. № 1.
11. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005.
12. Хазиев Ф.Х., Фатхиев Ф.Ф. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активизация разложения нефти // Агрохимия. № 10. 1981.

ENZYMES ACTIVITY AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF MEADOW-ALLUVIAL SOILS IN CONDITIONS OF OIL POLLUTION

© 2008 R.R. Suleymanov¹, T.A. Abdrahmanov², Z.A. Zhabbarov², L.T. Tursunov²

¹Institute of biology Ufa Reserch Centre RAS

²National university of Uzbekistan

Transformation biological and agrochemical properties of meadow-alluvial soils in conditions of oil pollution is studied. Change of activity of soil enzymes (katalaze, invertaze and ureaze) and decrease in the maintenance of mobile forms of phosphorus and potassums, and as total nitrogen is shown; it is observed acidition a soil solution. However entering of association hydrocarbon oxidizing bacteria and mineral fertilizers in the petropolluted soil promotes decrease in the maintenance of oil on 18-82% that leads to improvement of the studied properties of of soil.