

© 2007 Р.Р.Сулейманов^{*}, Т.А. Абдрахманов^{**},
З.А. Жаббаров^{**}, Л.Т. Турсунов^{**}

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

Сулейманов Р.Р., Абдрахманов Т.А., Жаббаров З.А., Турсунов Л.Т.
**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ЛУГОВО-АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ
НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.**

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 углеводородоокисляющих бактерий на фоне минеральных удобрений в нефтезагрязненную почву способствует снижению содержания нефтепродуктов на 18 - 82 %, что приводит к улучшению изученных свойств почвы.

Suleymanov R.R., T Abdrahmano, A. Zhabbarov, Z.A. Tursunov L.T.
**ENZYMES ACTIVITY AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF
MEADOW-ALLUVIAL SOILS IN CONDITIONS OF OIL POLLUTION.**

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.

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 ак-

^{*} Институт биологии Уфимского научного центра РАН

^{**} Национальный университет Узбекистана

тивности. Доказана ведущая роль показателей ферментативной активности при оценке влияния нефтяного загрязнения на экологическое состояние почв (Хазиев, Фатхиев, 1981; Исмаилов, 1988; Киреева и др., 2001; Сулейманов и др., 2005).

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 (Габбасова, 2004; Сулейманов и др., 2005).

Поскольку на современном уровне развития 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) (Порядок ..., 1993), 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 (Звягинцев, 1980) 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 Агрохимические... (1975). Активность ферментов – уреазы по Галстяну, каталазы по Кругловой и Пароменской, инвертазы по Хазиеву (Хазиев, 2005).

Содержание нефтепродуктов определяли весовым методом после экстракции углеводородов из навески почвы горячим гексаном на аппарате Со-кслета (Современные..., 1984).

Повторность опыта – четырехкратная. Полученные результаты обраба-тывались статистически (Дмитриев, 1995), 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 наи-больше количество добывающих и нагнетательных скважин, что выражает-ся 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).

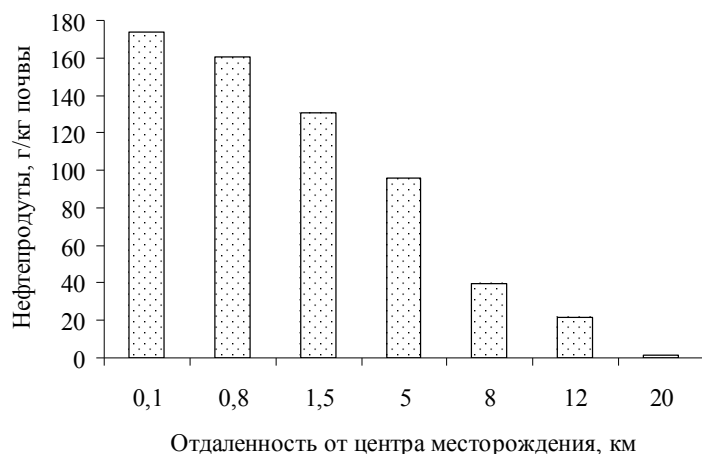


Рис. 1. Содержание нефтепродуктов в лугово-аллювиальной почве на изученных участках.

сит доступный активный кислород микроорганизмам, участвующим в про-цессах разложения нефти (Исмаилов, 1988).

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

Инвертаза, фермент, относящийся к классу гидролаз, участвует в транс-формации углеводов и определяется жизнедеятельностью целлюлозоразла-гающих микроорганизмов, играющих большую роль в деструкции углеводо-родов нефти (Киреева и др., 2001). Активность инвертазы также как и катала-зы, зависела от уровня загрязнения и находилась в линейной зависимости от содержания нефтепродуктов в почве ($y=0,82-0,004 \times x$ при $r^2 = 0,97$; $r = -0,98$ при $p = 0,00006$) (рис. 3).

Как известно, активность ферментов является чутким индикатором уровня загряз-ненности почв. Уровень актив-ности окислительно-восстановительных ферментов (каталаза, дегидрогеназа) – один из критериев самоочи-щающейся способ-ности почвы от нефтяных углеводородов. Каталаза, осуществляющая катализ реакции разложения пе-рекиси водорода на воду и мо-лекулярный кислород, привно-

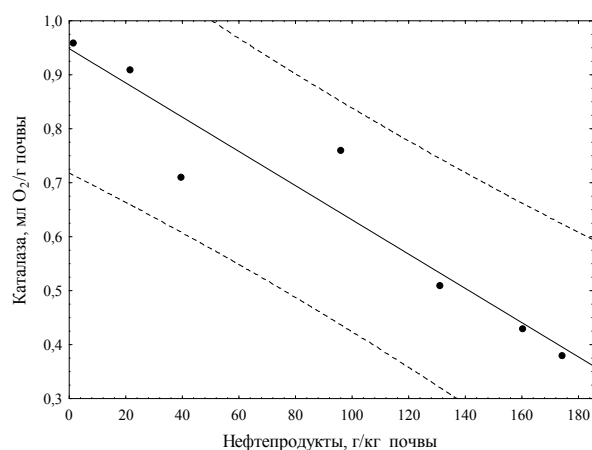


Рис. 2. Изменение активности каталазы в зависимости от содержания нефтепродуктов.

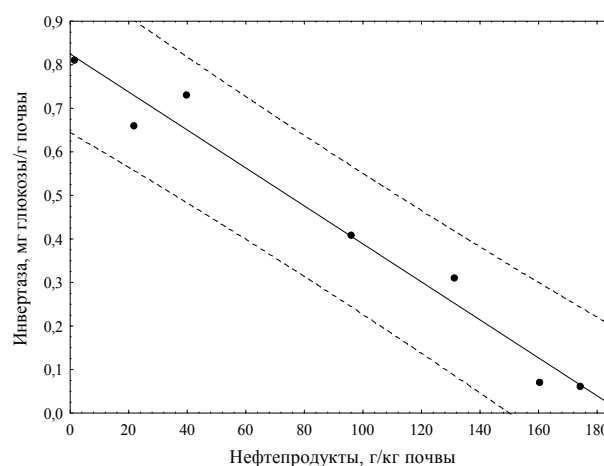


Рис. 3. Изменение активности инвертазы в зависимости от содержания нефтепродуктов.

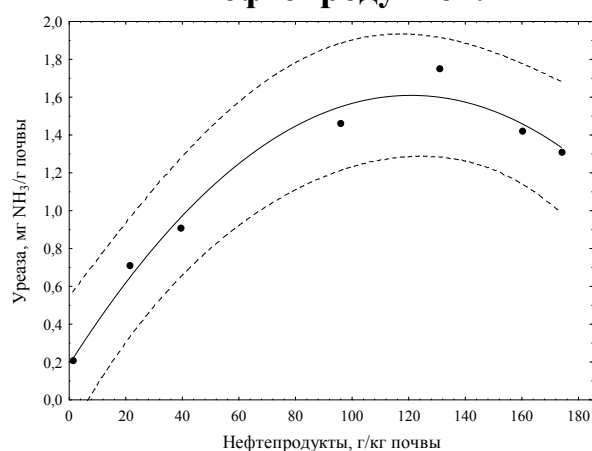


Рис. 4. Изменение активности уреазы в зависимости от содержания нефтепродуктов.

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 нефтепродуктов 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: $y=0,54+0,006 \times x$ 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).

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

был не везде одинаковым (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 моменты 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 улетучиться и разложиться под влиянием «аборигенной» углеводородокисляющей микрофлоры.

Таблица 1

Изменение химических свойств нефтезагрязненной лугово-аллювиальной почвы (до и после рекультивационных мероприятий)

Отдаленность от центра месторождения, км	Изменение содержания нефтепродуктов (г/кг) и степень очистки (%)			рН Н ₂ О		Азот общий, %		Р ₂ О ₅ подв., мг/кг		К ₂ О 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

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 рН 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 неод-

нозначно реагирует на уровень загрязнения нефтью: до содержания в почве

Таблица 2

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

	Каталаза, мл O 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

131 г/кг нефтепродуктов наблюдается повышение ее активности, при более высоких концентрациях – снижение.

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 микроорганизмов 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

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

Поступила в редакцию
2 декабря 2006 г.