

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО МИКРОБОЦЕНОЗА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ СЫРОЙ НЕФТЬЮ

Н.А. Черных, Е.К. Батовская, Ю.И. Баева, В.Г. Головин

*Экологический факультет, Российский университет дружбы народов,
Подольское ш., 8/5, 113093, Москва, Россия*

В данной работе представлена информация о воздействии нефти и нефтепродуктов на комплекс почвенных микроорганизмов, их численность, видовой состав и функциональную целостность. Проведено исследование ряда параметров биологической активности различных типов почв (дерново-подзолистой, чернозема и светло-каштановой), среди которых выделены наиболее чувствительные к высоким концентрациям сырой нефти. Получены закономерности изменения численности основных групп микроорганизмов при разных уровнях загрязнения почв.

В отличие от многих антропогенных факторов, нефтяное загрязнение оказывает комплексное воздействие на окружающую природную среду и вызывает ее быструю отрицательную реакцию. Хронические разливы нефти, нефтепродуктов, соленых пластовых вод, выносимых эксплуатационными скважинами вместе с нефтью и газом, приводят к падению продуктивности земель и деградации ландшафтов.

В настоящее время добыча, переработка и транспортировка нефти стали серьезной экологической проблемой, особенно для России. Удельный вес запасов нефти России в мировом балансе оценивается в 6%; по отношению к мировым объемам добычи российская нефть составляет 11%. Всего в нашей стране 1885 нефтяных месторождений, из них 12 месторождений с запасами более 300 млн. тонн. Сейчас экономика нашей страны слабее, чем десятилетия назад, при этом экологические проблемы в области нефтедобычи и нефтепереработки обострились настолько, что без их решения рост производства может привести к экологической катастрофе.

Наиболее опасными для состояния окружающей среды являются разливы нефти. Их опасность в значительной степени обусловлена тем, что природная среда еще не выработала механизмов противостояния или восстановления без каких-либо последствий для растительного и животного мира. Разливы нефти уничтожают практически все живое, о чем свидетельствуют высохшие леса, приуроченные к местам скопления нефти. Несмотря на многочисленные научные исследования, воздействие нефти и нефтепродуктов на экосистемы изучено слабо, особенно вопросы отдаленных последствий.

Так как все компоненты природной среды: почва, растительность, животные, вода, приземная атмосфера — образуют единую систему, то в основу оценки воздействия того или иного токсиканта должно быть положено всестороннее изучение данного вещества применительно ко всем звеньям экосистем.

Загрязнение сырой нефтью и нефтепродуктами представляет большую опасность для нормального функционирования почв. Оно проявляется в изменении их физико-химических свойств, в торможении интенсивности биологических процессов, снижении растворимости большинства микроэлементов, резком увеличении соотношения между углеродом и азотом и т.д. Нефтяное загрязнение препятствует нормальному тепло- и газообмену почв, что может вызвать некоторые изменения климатических условий. При высоких дозах нефти почвенная масса становится гидрофобной, механические элементы и структурные агрегаты покрываются нефтя-

ной пленкой, которая изолирует питательные вещества от корневых систем растений. Почвенные частицы слипаются, а при старении и частичном окислении компонентов нефти последняя загустевает, и почвенный слой превращается в асфальтоподобную массу, которая совершенно непригодна для произрастания естественной растительности или возделывания сельскохозяйственных культур. Усиливается кутанообразование, происходит изменение цвета почвы, ухудшается структура, реакция почвенного раствора сдвигается в щелочную сторону, общее содержание углерода увеличивается в 2-10 раз, а количество углеводов — в 10-100 раз. Общая численность и видовое разнообразие почвенных микроорганизмов при этом претерпевают значительные изменения.

При нефтяном загрязнении тесно взаимодействуют три группы факторов:

- уникальная многокомпонентность состава нефти, находящегося в процессе постоянного изменения;
- гетерогенность состава и структуры любой экосистемы, находящейся в процессе постоянного развития;
- многообразие и изменчивость внешних факторов, под воздействием которых находится экосистема: температура, давление, влажность, состояние атмосферы, гидросферы и т.д.

Для достоверной оценки процессов накопления и трансформации нефти и нефтепродуктов в почве, изучения их токсичности, а также для удаления данных веществ необходимо учитывать конкретное сочетание этих трех групп факторов.

Сырая нефть представляет собой сложную смесь алифатических (метановых), циклических насыщенных (нафтеновых), циклических ненасыщенных (ароматических) и смешанных (гибридных) углеводов (метано-нафтеновых и нафтеново-ароматических), содержащую также небольшие количества соединений серы и азота. В составе нефти обнаружено свыше 1000 индивидуальных органических веществ, содержащих 83-87% углерода, 12-14% водорода, 0,5-6% серы, 0,02-1,7% азота, 0,005-3,6% кислорода и незначительную примесь минеральных соединений. В жидких углеводородах растворены смолисто-асфальтеновые высокомолекулярные соединения, содержащие до 88% углерода. Нефть разных месторождений содержит одни и те же химические компоненты, но может различаться их соотношением. Например, в бакинской нефти преобладают алканы и нафтены, а в нефти Краснодарского края содержится заметное количество ароматических углеводов.

Токсичность нефти определяется присутствием летучих ароматических углеводов — толуола, ксилола, бензола, нафталина и др. Они легко разрушаются и удаляются из почвы. Поэтому период острого токсичного действия сравнительно небольшой. Напротив, парафины не оказывают сильного токсического действия на почвенную биоту, но благодаря высокой температуре отвердевания существенно влияют на физические свойства почвы, изменяют ее структуру. Высокое содержание серы свидетельствует об опасности сероводородного загрязнения почв.

При поступлении на земную поверхность нефть оказывается в качественно новых условиях существования: из анаэробной обстановки с замедленными темпами геохимических процессов она попадает в хорошо аэрируемую среду, в которой помимо абиотических факторов, большую роль играют биогеохимические факторы и прежде всего, деятельность микроорганизмов. При этом ее состав постоянно меняется. Ультрафиолетовая составляющая солнечной радиации существенно ускоряет деструкцию компонентов нефти, однако с экологической точки зрения этот процесс опасен из-за образования высокотоксичных продуктов распада. После испарения наиболее летучих компонентов и растворения низкомолекулярных фракций (ароматические фракции растворяются быстрее, чем парафины с открытыми цепями)

процесс разрушения нефти замедляется, так как остатки подвергаются биологическому и химическому разложению. Биохимическое разложение основной массы разлитой нефти протекает очень медленно, так как в почвах не существует какого-либо определенного вида микроорганизмов, способного разрушить все компоненты нефти. Бактериальное воздействие на них отличается высокой селективностью, и полное разложение нефти требует воздействия разных видов, причём для разрушения образующихся промежуточных продуктов требуются свои микроорганизмы. Легче всего протекает микробиологическое разложение парафинов. Более стойкие циклопарафины и ароматические углеводороды сохраняются дольше. Тяжелые фракции нефти разлагаются очень плохо, образуя смолистые сгустки, нарушая тем самым, весь комплекс почвенных свойств — как физико-химических, так и биологических.

В почвах нефть и нефтепродукты могут находиться в следующих формах (Почва, 1995):

- в пористой среде* — в парообразном и жидком легкоподвижном состоянии, в свободной или растворенной водной или водно-эмульсионной фазе;
- в пористой среде и трещинах* — в свободном неподвижном состоянии, играя роль вязкого или твердого цемента между частицами и агрегатами почвы;
- в связанном состоянии* на частицах почвы, в том числе на гумусовой составляющей почвы;
- в поверхностном слое почвы* в виде плотной органоминеральной массы.

Загрязнение почв нефтью и продуктами ее переработки приводит к заметному сдвигу в составе почвенной биоты, что является основой для диагностики степени загрязнения, а также, в дальнейшем, и для разработки методов реабилитации загрязненных почв. Как правило, при загрязнении почва обогащается микроорганизмами, способными разлагать углеводороды, что важно как для очищения почв от компонентов нефти, так и для разработки способов биосинтеза микробного белка из углеводородов нефти.

В зависимости от уровня антропогенной нагрузки изменения в комплексе почвенных микроорганизмов разделены на четыре типа (Звягинцев и др., 1986). Это разделение справедливо для самых разных видов загрязнений. Каждому типу изменений соответствует определенный диапазон нагрузки, названный зоной:

Зона гомеостаза — диапазон концентраций загрязняющего вещества, при котором не происходит сколько-нибудь существенных изменений в комплексе почвенных микроорганизмов;

Зона стресса — диапазон концентраций, при котором наблюдаются количественные изменения в комплексе почвенных микроорганизмов. Эти изменения выражаются в перераспределении степени доминирования микроорганизмов, осуществляющих какой-либо процесс в почве;

Зона резистентности — диапазон концентраций, при котором происходят резкие качественные изменения в составе активно функционирующих в почве микроорганизмов. Преимущественное развитие получают устойчивые (резистентные) к высоким концентрациям загрязняющего вещества популяции микроорганизмов;

Зона репрессии — диапазон концентраций, при котором рост и развитие почвенных микроорганизмов сильно подавлены.

Изменения в комплексе почвенных микроорганизмов по мере увеличения антропогенной нагрузки распределяются следующим образом. В зоне гомеостаза микробная система почв устойчива к антропогенным нагрузкам. Первое нарушение равновесного состояния микробной системы обнаруживается в зоне стресса. В зоне резистентности нарушения в микробной системе достигают максимума, и в зоне репрессии микробная система прекращает функционировать. Величина зоны го-

меостаза может быть мерилем устойчивости микробной системы к загрязнению. Снижение устойчивости системы вызывает сокращение размеров зоны гомеостаза, что свидетельствует о загрязнении данной почвы и характеризует его уровень (Гузев и др., 1986). Это дает возможность по величине зоны гомеостаза микробной системы оценивать токсичность различных веществ, загрязняющих почву.

В условиях вегетационных опытов нами проведена оценка воздействия сырой нефти на микробиоценозы различных типов почв: дерново-подзолистой (Московская обл.), чернозема (Тамбовская обл.) и светло-каштановой почвы (Астраханская обл.). Для создания разных уровней загрязнения почвы заливали нефтью в следующих количествах: 0; 2,2; 5 и 10 л/м². Повторность опыта трехкратная. Численность микроорганизмов определяли по истечении двух месяцев после загрязнения общепринятыми методами (Бабьева и др., 1983; Мишустин и др., 1970).

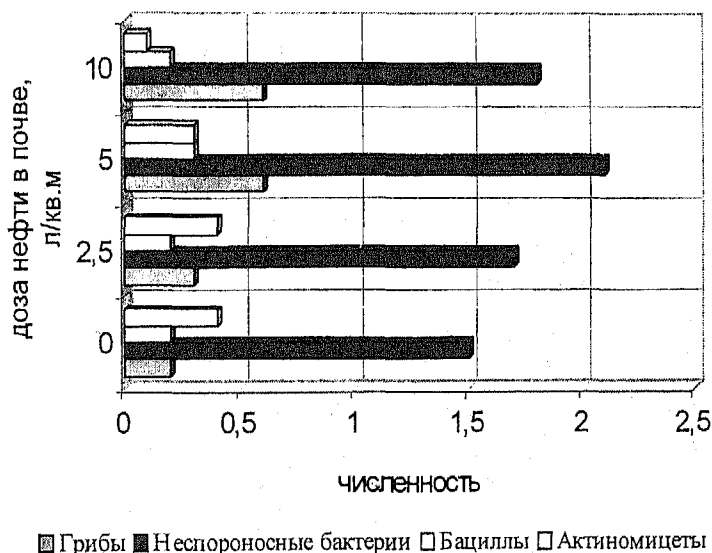


Рис. 1. Численность микроорганизмов в дерново-подзолистой почве, млн. на 1 г

Существуют и видовые особенности микроорганизмов в функционировании различных экосистем, что подтверждается нашими исследованиями (табл. 1). Так, в почвах с низкой активностью процессов гумификации (дерново-подзолистая почва) доминантами выступают виды, участвующие в разложении органического вещества на ранних стадиях, в частности бациллы *Bac. agglomeratus*, *Bac. cereus*, *Bac. virgulus*. Более глубокая трансформация органического вещества протекает при участии *Bac. idosus*, *Bac. mesentericus* и др. В качестве индикатора засоленности почв можно рассматривать *Bac. gasificans*. В условиях чрезвычайной засушливости экосистем (светло-каштановая почва) в структуре микробиоценоза доминирует *Bac. mesentericus niger*.

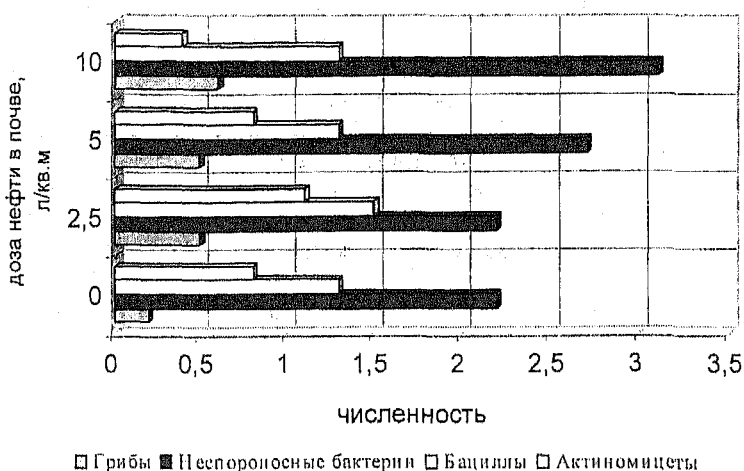


Рис. 2. Численность микроорганизмов в черноземе, млн. на 1 г

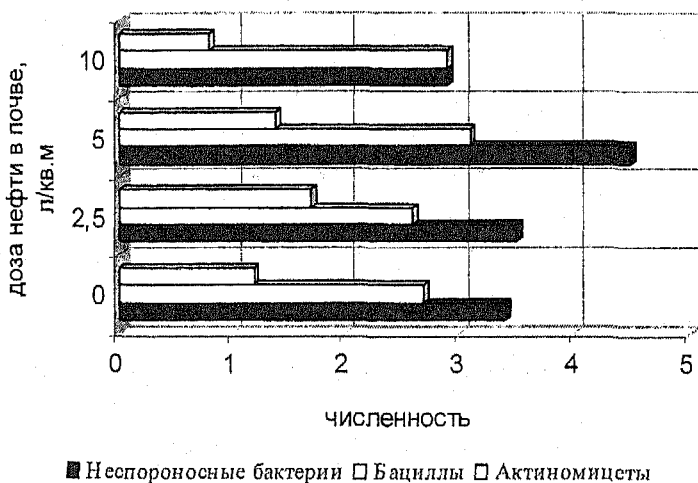


Рис. 3. Численность микроорганизмов в светло-каштановой почве, млн. на 1 г

Загрязнение почв нефтью приводит к изменению численности и соотношения различных групп микроорганизмов. Так, внесение нефти в дозе 10 л/м^2 в дерново-подзолистую почву увеличивает численность грибов (в 3 раза) и неспороносных бактерий (в 1,2 раза), не изменяет общую численность бацилл и снижает количество актиномицетов (в 4 раза). Данная закономерность сохраняется и для чернозема, при этом отмечается повышение количества грибов в 4 раза; неспороносных бактерий в 1,4 раза; падение численности актиномицетов в 2 раза. В светло-каштановой почве доза нефти 10 л/м^2 вызывает небольшое увеличение численности неспороносных бактерий – в 1,2 раза и уменьшение количества актиномицетов — в 1,5 раза. Грибы в данной почве нами не обнаружены. Следует отметить, что доза нефти $2,5 \text{ л/м}^2$ на черноземе и светло-каштановой почве приводит к повышению численности актиномицетов в 1,4 раза.

Таблица 1

Видовой состав бацилл в почвах, тыс. на 1г

Виды бацилл	Доза нефти, л/м ²				
	0	2,5	5	10	НСР _{0,95}
Дерново-подзолистая почва					
<i>Bac. agglomeratus</i>	8,5	9,8	12,8	9,0	0,4
<i>Bac. idosus</i>	25,1	27,5	20,4	18,2	1,0
<i>Bac. megatherium</i>	27,0	25,1	28,8	23,5	1,2
<i>Bac. mesentericus trevisan</i>	1,2	1,4	1,8	1,2	0,1
<i>Bac. mesentericus niger</i>	-	-	-	-	-
<i>Bac. cereus</i>	6,2	7,4	9,0	6,3	0,3
<i>Bac. virgulus</i>	1,3	2,7	2,2	1,0	0,2
<i>Bac. asterosporus</i>	3,5	3,3	3,0	3,0	0,2
<i>Bac. gasificans</i>	-	-	-	-	-
Чернозем					
<i>Bac. agglomeratus</i>	0,6	1,5	2,7	1,2	0,2
<i>Bac. idosus</i>	25,3	29,3	20,4	18,0	0,8
<i>Bac. megatherium</i>	43,5	54,5	36,2	36,0	1,4
<i>Bac. mesentericus trevisan</i>	8,6	9,9	12,0	7,2	0,3
<i>Bac. mesentericus niger</i>	-	-	-	-	-
<i>Bac. cereus</i>	5,9	8,7	10,5	7,1	0,3
<i>Bac. virgulus</i>	1,2	3,1	2,5	1,0	0,2
<i>Bac. asterosporus</i>	1,4	1,8	2,0	1,6	0,1
<i>Bac. gasificans</i>	-	-	-	-	-
Светло-каштановая почва					
<i>Bac. agglomeratus</i>	0,3	1,5	1,8	1,0	0,2
<i>Bac. idosus</i>	14,7	18,0	11,7	8,3	0,6
<i>Bac. megatherium</i>	25,9	24,6	27,9	16,6	1,0
<i>Bac. mesentericus trevisan</i>	22,0	29,4	32,4	15,0	0,9
<i>Bac. mesentericus niger</i>	9,1	13,5	18,6	14,2	0,5
<i>Bac. cereus</i>	1,4	2,6	3,7	2,0	0,3
<i>Bac. virgulus</i>	-	-	-	-	-
<i>Bac. asterosporus</i>	4,3	6,9	5,0	2,8	0,5
<i>Bac. gasificans</i>	0,9	1,4	1,9	1,9	0,2

Весьма интересные закономерности видового изменения бацилл отмечены при разных уровнях загрязнения нефтью. Доза нефти 2,5 л/м² стимулирует рост количества большинства изучаемых видов (за исключением *Bac. megatherium*) на всех почвах. Доза нефти 5 л/м² повышает численность *Bac. agglomeratus*, *Bac. mesentericus trevisan*, *Bac. cereus*, *Bac. virgulus* в дерново-подзолистой почве; *Bac. agglomeratus*, *Bac. mesentericus trevisan*, *Bac. cereus*, *Bac. virgulus* и *Bac. asterosporus* в черноземе; *Bac. agglomeratus*, *Bac. megatherium*, *Bac. mesentericus trevisan*, *Bac. cereus*, *Bac. asterosporus*, *Bac. gasificans* и *Bac. mesentericus niger* в светло-каштановой почве. Доза нефти 10 л/м² увеличивает количество *Bac. agglomeratus* в дерново-подзолистой почве; *Bac. agglomeratus* и *Bac. cereus* в черноземе; *Bac. agglomeratus*, *Bac. cereus*, *Bac. mesentericus niger* и *Bac. gasificans* в светло-каштановой почве. В светло-каштановой почве, в отличие от дерново-подзолистой почвы и чернозема присутствуют бациллы *Bac. mesentericus niger* и *Bac. gasificans*, численность которых возрастает с увеличением дозы нефти в почве до 5 л/м².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях нефтезагрязнения происходят глубокие нарушения в структуре комплекса почвенных микроорганизмов, что находит свое отражение в изменении численности и видового состава последних, а следовательно и в уровне биохимической активности почв. При этом изменение функциональной целост-

ности микробиоты, обеспечивающей устойчивость сложившегося в почве микробиоценоза, приводит в конечном итоге к его частичной или полной деградации.

На основе полученных экспериментальных данных и анализа природных особенностей различных типов почв России можно сделать вывод об увеличении опасности накопления нефтепродуктов в почвенном покрове в направлении с юга на север, что подтверждается рядом исследовательских работ (Пиковский и др., 1981; Ахмедов и др., 1982; Ильин и др., 1982; Оборолин и др., 1984; Калачникова и др., 1987; Ежегодник, 1990). При этом большое значение имеют свойства почвы, ландшафтно-геохимическая обстановка и буферность всей экосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

- Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы. Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) нефти и нефтепродуктов в почвах. Федеральные санитарные правила и гигиенические нормативы. – М., 1995.
- Звягинцев Д.Г., Гузев В.С., Левин С.В. Изменения в комплексе почвенных микроорганизмов при антропогенных воздействиях. – В сб.: Успехи почвоведения. Советские почвоведы к XIII Международному конгрессу почвоведов, Гамбург, 1986. – М.: Наука, 1986. – С. 64-68.
- Гузев В.С., Левин С.В., Бабьева И.П. Тяжелые металлы как фактор воздействия на микробную систему почв. / В кн.: «Экологическая роль микробных метаболитов». – М.: Изд.-во МГУ, 1986.
- Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд.-во МГУ, 1983. – 248 с.
- Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Микробиология. – М.: Колос, 1970. – 344 с.
- Пиковский Ю.И., Солнцева Н.П. Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потоков нефти. / В кн.: «Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем». – М.: Наука, 1981. – С. 149-154.
- Ахмедов А.Г., Ильин Н.П., Исмаилов Н.М. и др. Особенности деградации тяжелой нефти в светлых серо-коричневых почвах сухих субтропиков Азербайджана. / В кн.: «Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем». – М.: Наука, 1982. – С.217-227.
- Ильин Н.П., Калачникова И.Г., Каркишко Т.И. и др. Наблюдения за самоочищением почв от сырой нефти в средней и южной тайге. / В кн.: «Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем». – М.: Наука, 1982. – С.245-249.
- Оборолин А.А., Колесникова Н.М., Масливец Т.А., Базенкова Е.И. Трансформация нефтяных углеводородов почв, загрязненных нефтью. / В кн.: «Влияние промышленных предприятий на окружающую среду». -Пушино, 1984. – С. 189-240.
- Калачникова И.Г., Масливец Т.А., Базенкова Н.М. и др. Влияние нефтяного загрязнения на экологию почв и почвенных микроорганизмов./В кн.: «Экология и популяционная генетика микроорганизмов». – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. – С. 23-26.
- Ежегодник загрязнения почв Советского Союза токсикантами промышленного происхождения. – ИЭМ. – Обнинск, 1990. – № 4226-87 от 13.03.87; № 4233-87 от 30.10.87.

THE ASSESSMENT OF SOIL MICROBOORGANISMS ACTIVITY IN CONDITIONS OF OIL POLLUTION

N.A. Chernykh, E.K. Batovskaja, J.I. Baeva, V.G. Golovin

*Ecological Faculty, Russian Peoples' Friendship University,
Podolskoye shosse, 8/5, 113093, Moscow, Russia*

In the given work is submitted the information on influence of oil and mineral oil on a complex of soil microorganisms, their number, specific structure and functional integrity. Research of some parameters of biological activity of various soil types (derново-podsolic, chernozem and light-brown) among which the most sensitive are allocated to high concentration of oil. Laws of change of number of the basic groups of microorganisms are received at different levels of soil pollution.