

УДК 631.48

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ НЕФТЬЮ ПОЧВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

© 2011 г. Н. А. Аветов<sup>1</sup>, Е. А. Шишконокова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Факультет почвоведения МГУ им. Ломоносова, 119991, Москва,  
Ленинские горы

<sup>2</sup> Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 119017,  
Москва, Пыжевский пер., 7

Освещается процесс поступления, распространения и трансформации нефти в почвах основных ландшафтов таежной зоны Западной Сибири в границах Ханты-Мансийского автономного округа. Приводятся сведения о свойствах загрязненных почв (хемоземов). Рассматриваются особенности структуры почвенного покрова территорий, подвергшихся нефтезагрязнению. Указывается на фитомелиорацию, как на один из эффективных методов рекультивации.

*Ключевые слова:* загрязнение нефтью, таежные почвы, хемоземы.

Уже в течение 40 лет Западная Сибирь в границах Ханты-Мансийского автономного округа–Югры (ХМАО–Югры) является основным центром нефтедобычи России. В настоящее время в этом регионе, относящемся к подзонам северной и средней тайги, добывается около 65% общего объема российской нефти. Соответственно и основные массивы нефтезагрязненных земель, площадь которых, по некоторым данным, достигает 40 тыс. га также сосредоточены на территории округа (Трофимов и др., 2008).

Нефть является одним из основных загрязнителей почв, представляя собой природный раствор, состоящий из большого числа углеводородов разнообразного строения и высокомолекулярных смолистых и асфальтеновых веществ (Пиковский и др., 2003). Нефтезагрязнениям подвергнуты почвы всех ландшафтов, в том числе темнохвойные леса на слабодифференцированных суглинисто-глинистых почвах, сосновые леса на песчаных подзолах, верховые болота с олиготрофными торфяными почвами, низинные (в основном пойменные) и переходные болота с эвтрофными и

мезотрофными торфяными и торфяно-глеевыми почвами. В отличие от аэрогенных загрязнений, поступление нефти происходит сразу в больших количествах главным образом при аварийных разливах из трубопроводов. При этом процесс поверхностной и внутрипочвенной миграции загрязнителя в латеральном и радиальном направлениях существенно различается в зависимости от типа почв и ландшафта в целом.

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Основное количество поступающей в таежные ландшафты нефти сосредотачивается в подстилке и верхнем минеральном горизонте почвы. Загрязнение подстилки – важнейшего биогеоценотического компонента таежных экосистем – вызывает необратимые последствия, включая уничтожение банка семян и зачатков, практически полную гибель почвенного микробного и животного населения, сосредоточенного почти исключительно в этом горизонте, и выпадение мохово-лишайникового яруса. Последствия от загрязнения подстилки усугубляются ее высокой нефтеемкостью – до 20%. Последующие изменения в почве приводят к угнетению и гибели древесного яруса. Отдельные растения травяно-кустарничкового яруса выживают в основном на микроповышениях и периферийных частях разливов. Проникновение нефти в минеральную толщу суглинистых почв, по данным Н.П. Солнцевой (1998), происходит главным образом путем гравитационного стекания по «ослабленным зонам» – каналам миграции: трещинам, межагрегатным порам. Необходимо отметить, что тяжелый гранулометрический состав, литогенная неоднородность почвенного профиля, значительная длительность морозного периода, высокая влажность (особенно в первой половине лета) выступают факторами, препятствующими глубинному проникновению нефти в таежных суглинистых почвах. Негативные последствия нефтезагрязнения для почвенной биоты проявляются не только в токсическом эффекте, но и в резком изменении в неблагоприятном направлении большинства водно-физических показателей. В частности, значительно увеличивается влажность завядания на фоне сокращения диапазона активной влаги (Середина и др., 2006).

В песчаных и супесчаных подзолах профильная миграция нефти отличается большей интенсивностью, однако в этом случае проникновение поллютантов из-за слабой оструктуренности подзолов часто носит фронтальный характер, и нефть насыщает практически всю почвенную массу. Низкая влажность песчаных почв также повышает миграционную способность нефти.

В результате нефтезагрязнения на месте таежных почв формируются таежные хемоземы. При этом наибольшие морфологические преобразования испытывает подстилка, которая, насыщаясь нефтью, со временем (обычно в течение 3–4-х лет) превращается в твердый сцементированный слой, покрытый сверху битуминозной коркой. В то же время в минеральных горизонтах занимающие поровое пространство углеводороды находятся преимущественно в жидкой фазе. Прекращение доступа воздуха как с поверхности, так и по системе пор, в свою очередь, приводит к развитию вторичного глеегенеза (Солнцева и др., 1985; Середина и др., 2006). Переувлажнение почвенного профиля, а нередко и заболачивание таежных почв, уверенно выявляются методами геоботанической индикации на участках с признаками восстановления растительного покрова (Аветов, Шишконокова, 2008). Н.П. Солнцевой (1998) указывает на морфологические изменения в таежных почвах, связанные с парасолонцевым процессом, проявляющиеся в уплотнении, образовании глыбистой структуры (в сухом состоянии), заплывании (в мокром состоянии), перестройке профиля ила.

Для формирования ареалов таежных хемоземов большое значение имеют геоморфологические условия залегания почв. На выровненных поверхностях образуются обширные изоморфные (линзовидные, округлые) или вытянутые вдоль линейно-инженерных сооружений контуры. На склонах увалистых повышений ареалы хемоземов отличаются выраженной полосчатой (струйчатой) формой с пространственной ориентацией, соответствующей направлениям линий стока. Часто они занимают ложбины стока, долины таежных ручьев и временных водотоков. Площадь подобных ареалов уступает площади плоских территорий при значительно более высокой расчлененности контуров.

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ

Сильнейшее воздействие нефтезагрязнения испытывают болотные ландшафты Западной Сибири. Общая площадь болот (без учета Иртышской и Обской пойм) в границах ХМАО–Югры составляет, по нашим данным, 185 707 км<sup>2</sup>, из которых на верховые болота приходится 172 170 км<sup>2</sup> (92.7%). Высокая экологическая уязвимость этих экосистем определяется чрезвычайно высокой нефтеемкостью торфяных почв. Содержание нефти в отличающемся наибольшей нефтеемкостью верховом (олиготрофном) сфагновом торфе может достигать 70–80%. Сфагновый торф выступает в качестве природного адсорбента нефти, не имеющего аналогов среди других материалов. Так, один из эффективнейших адсорбентов нефти *Spill Sorb*, выпускаемый в Канаде, представляет собой измельченный сфагновый торф, высушенный до влажности 10%.

Проникновение нефти в глубину торфяной залежи определяется в основном влажностью торфа и глубиной залегания зеркала почвенно-грунтовой воды. Деятельный горизонт, в котором происходят сезонные колебания уровня воды, как правило, всегда оказывается замазучен, в то время как более глубоких слоев достигают лишь водорастворимые фракции, в первую очередь ароматические углеводороды (Трофимов и др., 2008). При концентрации нефти, близкой к нефтеемкости в верхнем горизонте (особенно в верховом очесе), происходит усадка торфа и, как следствие, на обводненных болотах торфяная залежь разрывается, образуя техногенную топь (торфяной техно-топяной хемозем), состоящую из трех слоев: нижнего относительно мало загрязненного торфа, водоносного горизонта, заполненного водно-нефтяной эмульсией, и поверхностной битуминизированной сплавины. Образованию техногенных топей способствует распространенное на месторождениях подтопление болот вследствие нарушения стока линейно-инженерными сооружениями, а также фрезерования торфа в процессе рекультивации, сопровождаемого воздействием тяжелой болотоходной техники. Необходимо отметить, что на дренированных верховых сосново-кустарничково-сфагновых болотах (рямах) при умеренном загрязнении, не приводящем к значительному на-

сыщению нефтью нижней части деятельного горизонта, после фрезерования в некоторых случаях может наблюдаться и обратное явление – переосушение сфагнового торфа (Аветов, 2009).

В настоящее время значительная доля торфяных хемоземов, включая техно-топяные хемоземы, несмотря на развернувшиеся рекультивационные работы, пребывает в состоянии бедлендов. При умеренных загрязнениях в результате как самовосстановления, так и успешной рекультивации, на верховых болотах наблюдается постепенное восстановление растительного покрова, однако, набор видов-зарастателей свидетельствует о резком повышении трофности болотных биоценозов (Шишконокова и др., 2006; Awetow u. a., 2007). Здесь поселяются такие мезо-эвтрофные и эвтрофные виды, как береза пушистая, осина, ивы, вейник Лангсдорфа, в. наземный, осока вздутая, о. острая, о. сероватая, пушица Шейхцера, п. узколистная (многоколосковая), рогоз широколистный, ситники, частуха подорожниковая и др. В результате смены растительности на верховых болотах почвообразовательный процесс также меняет свою направленность. Торфяной хемозем (вторично эвтрофицированный), формирующийся по исходной торфяной олиготрофной почве, по нашим наблюдениям, уже по прошествии 20 лет после начала восстановительных сукцессий, характеризуется ярко выраженными признаками смены почвообразовательного процесса с олиготрофного на эвтрофный, на что указывают свойства верхнего торфяного горизонта. Он приобретает темно-бурую окраску, степень разложения торфа возрастает до сильно разложенного, в составе верхних 2–3 см преобладают остатки осок с незначительной примесью остатков других растений-торфообразователей (Маниша, Шишконокова, 2005).

Геометрические характеристики ареалов торфяных хемоземов на верховых болотах определяются интенсивностью разлива и типом болотного биогеоценоза. При умеренных разливах на комплексных грядово-мочажинных и озерково-грядово-мочажинных болотах хемоземы занимают только пониженные формы рельефа (мочажины), и их ареалы приобретают полосчатые, подковообразные формы. При интенсивных разливах нефть загрязняет всю поверхность болота, а полосчатые формы ареалов сохраняются только по периферии. Не образуют специфических геометрических

форм и хемоземы, образованные на месте относительно дренированных сосново-кустарничково-сфагновых болот. На месторождениях с развитой инфраструктурой границами контуров торфяных хемоземов часто выступают инженерные сооружения: насыпи, дороги, кустовые площадки, обваловки (в т.ч. и создаваемые при локализации аварийных разливов).

В настоящее время обширные гомогенные ареалы торфяных почв верховых болот в результате загрязнения нефтью, а нередко и под воздействием других антропогенных факторов, преобразовались в сложные неоднородные структуры, включающие следующие основные компоненты:

- торфяные хемоземы;
- торфяные техно-топяные хемоземы;
- торфяные хемоземы поверхностно переосушенные;
- торфяные хемоземы вторично эвтрофицированные.

При этом каждая из названных групп торфяных хемоземов различается по степени, глубине, химизму углеродного загрязнения, засоленности, механической нарушенности (в т.ч. при фрезеровании и воздействии тяжелой болотоходной техники), характеру растительного покрова. Торфяные хемоземы на месторождениях соседствуют с другими почвами и техногенными поверхностными образованиями: насыпями, выемками, запечатанными почвами, торфяными техногенными солончаками, сохранившимися ненарушенными торфяными почвами, а также с водоемами естественного и искусственного происхождения.

#### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ НИЗИННЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ БОЛОТ

Торфяные эвтрофные (низинные), включая торфяно-глеевые и иловато-торфяно-глеевые почвы, и мезотрофные (переходные) почвы занимают на территории ХМАО–Югры преимущественно пойменные территории. На юго-западе округа они встречаются и по ложбинам стока (Салым-Иртышское междуречье), транзитным топям (Кондинская низменность). Повышенная трофность свойственна торфяным почвам межбугристых понижений комплексных плоскобугристых болот, распространенных местами вдоль северной границы округа, и мочажин западносибирского варианта апаболот, встречаемых преимущественно на западе ХМАО–Югры. В

целом, площадь низинных и переходных болот составляет незначительную часть от территорий, занятых верховыми болотами, поэтому загрязнение нефтью не приобретает здесь таких масштабов. К отличительным особенностям хемоземов, образованных по эвтрофным и мезотрофным торфяным почвам следует, кроме того, отнести их меньшую нефтеемкость до 20–25% (за исключением почв мезотрофных сфагновых болот), большой потенциал самоочищения, обусловленный повышенной биологической активностью и развитой системой внутриводосточного стока.

Следует подчеркнуть и более высокую толерантность болотных эвтрофных видов к нефтезагрязнению, многие из которых увеличивают свое присутствие за счет поселения на хемоземах верховых болот. Поскольку зарастание низинных болот идет во многом сходной с естественной растительностью, значительного изменения в почвообразовательном процессе (торфонакоплении) при протекании восстановительных сукцессий не наблюдается. Торфяная масса хемоземов уплотняется, становится вязкой, бесструктурной, приобретает характерный темно-бурый цвет. Горизонты, в которых содержание нефти приближается к предельным значениям их нефтеемкости, становятся водоупорными.

При рекультивации хемоземов по пойменным иловато-торфяно-глеевым почвам в результате турбирования в процессе фрезерования создается сильная пестрота окраски верхних нарушенных горизонтов, связанная с беспорядочным чередованием прослоев и пятен разного размера и формы исходных торфяных и минеральных горизонтов, включая пятна оглеения, битуминизации и ожелезнения разной степени выраженности. При этом прослеживается усиление степени оглеения нижнего глеевого горизонта, выражающееся как в увеличении мощности глеевого горизонта, так и интенсивности проявления сизого оттенка. Увеличение степени оглеения отмечается и при загрязнении пойменных луговых почв (Середина и др., 2006). В случае высокой степени загрязнения формирующаяся битуминозная корка препятствует дальнейшему разложению нефтепродуктов, почва полностью утрачивает плодородие.

Ареалы торфяных хемоземов по почвам низинных и переходных болот во многом наследуют генетико-геометрические

особенности исходных структур почвенного покрова. В пойме Оби и ее крупных притоков на сегментно-гривистых массивах хемоземы занимают межгривные понижения, образуя ареалы полосчатой формы. В то же время формирование ареалов хемоземов на гетеротрофных грядово-мочажинных болотных комплексах в общем соответствует описанному выше для верховых грядово-мочажинных болот.

#### РАЗЛОЖЕНИЕ НЕФТИ И ПРОБЛЕМА РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Входящие в состав нефти углеводороды с течением времени трансформируются в окисленные соединения: карбоновые кислоты, кетоны, альдегиды, спирты, эфиры, производные ароматических соединений. Часть из них может оказывать токсический эффект на растительность. В основном окисление носит микробный характер, причем наиболее трудно подвергаются микробному воздействию тяжелые фракции углеводородов из-за их незначительной способности к диспергированию и меньшей удельной поверхности. Экспериментально показана возможность биодеградации индивидуальными микроорганизмами n-алканов с длиной цепи до 44 атомов углерода, в то время как микробное разложение ароматических соединений крайне затруднено (Кураков и др., 2006).

В условиях ХМАО–Югры микробному разложению нефти в почвах препятствует ряд факторов: низкие температуры при довольно коротком вегетационном периоде (110–120 дней), сильная обводненность ландшафтов, в то числе носящая и антропогенный характер, неблагоприятная реакция среды (в большинстве случаев, несмотря на подщелачивание при попадании высокоминерализованных вод, слишком кислая), недостаток элементов питания (особенно фосфора), высокое содержание нефти в органогенных горизонтах, в ряде случаев – значительную концентрацию легко-растворимых солей (хлорида натрия). Следует заметить, что содержание легко-растворимых солей в отдельных случаях может достигать в верхнем торфяном слое 0–10 см 20%, но уже содержание выше 3% приводит к угнетению как естественной растительности, так и микробного населения.

На верховых сфагновых болотах единственным способом рекультивации, позволяющим быстро и эффективно устранить нефтезагрязнение, является срезка битуминозной корки и подстиляющего ее слоя торфа с уровнем загрязнения выше 25% с последующей их утилизацией. Несмотря на активное внедрение в последнее время дорогостоящих технологий, таких как внесение бактериальных препаратов, разлагающих нефть, поверхностно-активных веществ, сорбентов (Середина и др., 2006), эффективность их действия на сильнозагрязненных (с содержанием нефти более 20%) олиготрофных торфяных почвах весьма невелика.

Заросшие растительностью участки, вероятно, следует оставлять на дальнейшее самоочищение, принимая во внимание стимуляцию разложения нефти растительностью, а также весьма слабый сток загрязнений с крупных массивов верховых болот в сопряженные ландшафты. В связи с этим, следует отметить, что в последнее время растительность (особенно гидроморфных местообитаний) рассматривается как важный природный фактор очистки экосистем от углеводородов (Кочуров, 1983; Садчиков, Кудряшов, 2005; Островская и др., 2009).

#### ВЫВОДЫ

1. Образованные в результате аварийных разливов нефти новые компоненты почвенного покрова таежной зоны – хемоземы – отличаются высоким разнообразием, обусловленным как природными, так и техногенными факторами.
2. Генетико-геометрические особенности почвенных ареалов хемоземов определяются исходным микрорельефом болотных ландшафтов, мезо- и микрорельефом таежных ландшафтов, масштабами аварийных разливов, наличием антропогенных поверхностных образований.
3. При рекультивации нефтезагрязненных торфяных почв особое внимание следует уделить растительности как фактору восстановления нефтезагрязненных болотных земель, учитывая в этом случае невысокую эффективность других методов рекультивации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветов Н.А.* Геоботаническая индикация трофности и увлажненности почв рекультивированных нефтезагрязненных болот Среднего Приобья // Почвоведение. 2009. №1. С. 119–123.
2. *Аветов Н.А., Шишконокова Е.А.* Фитоиндикация влажности и обеспеченности элементами питания (трофности) нефтезагрязненных почв Среднего Приобья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2008. № 1. С. 10–13.
3. *Кочуров Б.И.* Оценка устойчивости почв к загрязнению // География и природные ресурсы. 1983. №4. С. 55–60.
4. *Кураков А.В., Ильинский В.В., Котелевцев С.В., Садчиков А.П.* Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. М.: Графикон, 2006. 336 с.
5. *Маниша А.Е., Шишконокова Е.А.* Трансформация почвенно-растительного покрова южной части Среднеобской низменности в условиях воздействия нефтегазодобывающего комплекса // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2005. № 2. С. 60–63.
6. *Островская Е.В., Немировская И.А., Бреховских В.Ф., Монахов С.К., Курапов А.А.* Углеводороды воды и взвеси в районе геохимического барьера дельта р. Волга–Северный Каспий // Юг России: экология, развитие. 2009. №4. С. 150–159.
7. *Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н.* Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132–1140.
8. *Садчиков А.П., Кудряшов М.А.* Гидробиотика: прибрежно-водная растительность. М.: Академия, 2005. 240 с.
9. *Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Г.И., Терещенко Н.Н.* Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 270 с.
10. *Солнцева Н.П.* Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 369 с.
11. *Солнцева Н.П., Пиковский Ю.И., Никифорова Е.М. и др.* Проблемы загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами: геохимия,

- экология, рекультивация // Докл. симп. VII дел. съезда ВОП. Ташкент: Мехмат, 1985. Ч. 6. С. 246–254.
12. *Трофимов С.Я., Фокин А.Д., Купряшкин А.А., Дорофеева Е.И.* Миграция нефти и ее компонентов по профилю торфяной верховой почвы в условиях модельного эксперимента // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение, 2008. № 1. С. 25–28.
  13. *Шишконокова Е.А., Абрамова Л.И., Аветов Н.А.* Опыт использования экологических шкал Л.Г. Раменского для индикации нарушенных ландшафтов в нефтедобывающих районах Западной Сибири // Проблемы региональной экологии. 2006. № 2. С. 50–55.
  14. *Awetow N. A., Schischkonakowa E.A., Hartge K.H.* Pflanzen als ökologische Frühanzeiger anthropogener Einflüsse auf die Böden im Erdölgewinnungsgebiet Westsibiriens // Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie. 2007. Bd. 41. №1. S. 36–41.

### OIL CONTAMINATION OF SOILS IN TAIGA ZONE OF WEST SIBERIA

**N. A. Avetov, E. A. Shishkonakova**

The article describes oil intake, distribution and transformation in soils of taiga zone in the borders of Khanty-Mansi autonomous okrug, West Siberia. The information on properties of contaminated soils (khemozems) is presented. The soil cover patterns of polluted areas are considered. Phytomelioration is pointed out as one of the effective methods of soil reclamation.

*Key words:* oil contamination, taiga soils, khemozems.