

Почвы нефтяных месторождений средней тайги Западной Сибири и прогнозная оценка опасности загрязнения органическими поллютантами

В. П. СЕРЕДИНА, М. Е. САДЫКОВ

Томский государственный университет
634050, Томск, просп. Ленина, 36

ОАО ТомскНИПИнефть
634027, Томск, ул. Нахимова, 8
E-mail: soil@bio.tsu.ru

АННОТАЦИЯ

Исследованы закономерности распределения фоновых почв нефтяных месторождений средней тайги Западной Сибири и выявлены особенности их морфогенетических и физико-химических свойств. Экспериментально обосновано, что опасность загрязнения почв нефтяными компонентами зависит от их положения в элементарных ландшафтно-геохимических системах (ЭЛГС), гранулометрического состава и буферной способности. Результаты могут быть использованы при проведении почвенно-экологического мониторинга и рекультивации почв.

Ключевые слова: почва, ландшафтно-геохимические системы, нефтяные месторождения, средняя тайга, свойства, устойчивость.

По современным представлениям [1, 2], одной из сложнейших проблем природопользования в пределах таежных ландшафтов Западной Сибири является все усложняющийся характер взаимоотношений человека с окружающей средой. В настоящее время ни один из современных нефтепромыслов не относится к “безотходным” производствам из-за несовершенства технологии добычи или ее нарушений, плохого качества или недопустимого износа оборудования [3]. При этом, чем интенсивнее идет процесс изъятия углеводородного сырья, тем активнее формируются техногенные потоки, поступающие в природную среду. Актуальность проведения углубленных почвенно-экологических исследований с целью оценки последствий загряз-

нения почв нефтью обуславливается высокой чувствительностью таежных ландшафтов к техногенному воздействию и длительным сроком их восстановления. Изучение влияния нефтяного загрязнения на свойства и функции почв, как центрального звена экосистем, осложняется недостаточной изученностью собственно фоновых почв таежной зоны Западно-Сибирской равнины. Разноплановые ситуации, возникающие при эксплуатации нефтяных ресурсов, во многом связаны с особенностями строения и режима функционирования геосистем различного ранга, их способностью выдерживать антропогенные нагрузки. Цель данной работы – изучение эколого-геохимических свойств фоновых почв нефтяных месторождений средней тайги Западной Сибири и прогнозная оценка их устойчивости к техногенному воздействию. Учитыв-

Середина Валентина Петровна
Садыков Марат Ергалиевич

вая приоритетную роль деградации территории ландшафтов, связанной с функционированием нефтегазового комплекса и сильно проявляющейся геохимической составляющей в демулационных процессах, в оценке устойчивости ландшафтов предпочтение отдано геохимическим аспектам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовали фоновые почвы Кондаковского, Аленкинского, Советского и Проточного месторождений углеводородного сырья. В соответствии с почвенно-географическим районированием [4] данные месторождения относятся к среднетаежной подзоне Западной Сибири. Для изучения эколого-геохимических свойств почв отобраны образцы основных представителей автоморфного (подзолистые), полугидроморфного (болотно-подзолистые) и гидроморфного (болотные верховые и низинные) рядов. Особое внимание уделено аллювиальным почвам, как конечным звеньям в системе геохимических ландшафтов, где происходит наиболее интенсивное накопление органических загрязнителей. В основу решения поставленных задач положен системный подход в рамках полевых почвенно-экологических изысканий и сравнительно-аналитического эксперимента. С целью детального изучения почвенного покрова данной территории проводились инженерно-экологические изыскания методом маршрутов. Лабораторно-аналитические исследования выполнены с использованием общепринятых в почвоведении методов [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность и скорость изменения природных процессов в зоне воздействия нефтедобывающих предприятий в значительной степени определяются устойчивостью к техногенным нагрузкам исходных природных объектов – ландшафтно-геохимических систем. В связи с этим возникает необходимость оценки устойчивости ландшафтов (и составляющих их компонентов, особенно почв) к нефтяному загрязнению и возможности их самовосстановления в условиях средней тайги Западной Сибири. Эта характеристика мо-

жет даваться применительно к уже сложившейся на данный момент ситуации в рассматриваемом регионе или применительно к возможному развитию эколого-геохимической ситуации в будущем (прогнозная задача). Геохимическая устойчивость – это способность ландшафта и его компонентов к самоочищению от продуктов техногенеза (их выносу или переводу в инертное состояние). Н. П. Солнцева [6] предложила устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам делить на устойчивость 1-го рода (устойчивость – противостояние), а способность к восстановлению нормального функционирования – как устойчивость 2-го рода (устойчивость – нормализация). Таким образом, устойчивость – специфическое свойство природных систем, определяющее характер их функционирования во времени. Устойчивость – такой же неотъемлемый признак, как морфологические или геохимические характеристики ландшафта, и имеет с ними функциональную связь. В то же время в отличие от перечисленных характеристик устойчивость нельзя измерить непосредственно. Для этих целей необходимо использовать широкий набор показателей, характеризующих как физические, так и химические процессы в почвах.

Известно [7], что элементарные ландшафтно-геохимические системы (ЭЛГС), представляющие начальные, наиболее высоко расположенные звенья каскадной системы (местные водораздельные поверхности), геохимически автономны, в них поток веществ поступает преимущественно из атмосферы. ЭЛГС, образующие более низкие ступени каскада (расположенные на склонах и в понижениях рельефа, болота, водоемы), представляют геохимически подчиненные или гетерономные ЭЛГС. Наряду с поступлениями из атмосферы они получают часть веществ, “сбрасываемых” поверхностными и грунтовыми водами из более высоко расположенных звеньев ландшафтно-геохимического каскада. Отсюда следует, что геохимически автономные ЭЛГС более устойчивы, чем геохимически подчиненные, при этом степень опасности загрязнения окружающей среды техногенными потоками веществ зависит от того, поступают ли они в верхние звенья каскада (могут ли охватить всю каскадную систему) или локализируются в ее конечных звеньях и



Схема миграции нефтяного загрязнителя в геохимически сопряженных ландшафтах исследуемой территории

образуют менее обширные техногенные аномалии.

Исходя из этого, можно оценить степень устойчивости и опасность загрязнения фоновых почв исследуемой территории (см. рисунок). В частности, автономные элювиальные ландшафты территории месторождений углеводородного сырья представлены преимущественно почвами подзолистого типа почвообразования. Селективное оподзоливание [8] вносит наиболее весомый вклад в гранулометрическую дифференциацию почвенного профиля. Этот макропроцесс включает совокупность деструктивных механизмов, способствующих высвобождению мигрирующих соединений железа и алюминия: кислотную агрессию, элювиально-глеевую мобилизацию железа, избирательное биологическое поглощение химических элементов из почвы.

Вместе с продуктами разрушения минералов илистой фракции нефтяные загрязнители и тяжелые металлы частично удаляются из верхней части минеральной почвенной толщи и передвигаются за пределы почвенного профиля в процессе внутрипочвенной миграции нисходящими и латеральными потоками влаги, а также путем поверхностного напочвенного латерального стока. В пес-

чаных подзолах элювиальных ландшафтов правобережья р. Оби, обладающих хорошими фильтрационными свойствами и, следовательно, низкой сорбционной способностью, создается сплошной фронт продвижения поллютанта. Нефть относительно равномерно мигрирует с нисходящими токами влаги до горизонта грунтовых вод.

Ранее нами показано [9, 10], что миграция нефти и нефтепродуктов обусловлена не только строением почвенного профиля, но и наличием системы почвенно-геохимических барьеров. В почвах подзолистого ряда, во-первых, это верхний органогенный горизонт, во-вторых, иллювиальный горизонт, который механически препятствует проникновению нефтяных компонентов, в результате чего в этом горизонте отмечается повышенное содержание органического углерода и нефтепродуктов. В сопряженных почвах, например болотно-подзолистых, в связи со специфической окислительно-восстановительных условий и высокой влажностью миграции поллютанта препятствуют глеевые горизонты. В почвах тяжелого гранулометрического состава нефть проникает по трещинам, вдоль корневых систем растений и сорбируется в отдельных горизонтах, в то время как в почвах легкого

гранулометрического состава (песчаных подзолах) происходит беспрепятственная миграция. Существенным барьером для нефтяных веществ в вертикальном направлении является зеркало грунтовых вод или верховодка. Почвы подчиненных элювиально-аккумулятивных и аккумулятивных ландшафтов, представленные болотно-подзолистыми и болотными типами почв, характеризуются большой мощностью поверхностных торфянистых горизонтов, сорбирующих основную массу нефтепродуктов. Торфяные горизонты и собственно торфяные почвы, обладая высокой нефтеемкостью, образуют систему геохимических барьеров. Однако при малой мощности торфянистых горизонтов нефть способна проникать и в минеральные горизонты, а иногда достигает материнской породы. Основным механизмом проникновения нефти в более глубокие горизонты является гравитационное стекание по ослабленным зонам – каналам миграции, что сопровождается насыщением нефтью объемов магистральных каналов, активным всасыванием в межагрегатные полости и диффузией в межрещичинную массу [11]. Обладая неблагоприятными физическими и водно-физическими свойствами, такими как повышенная плотность сложения и плотность твердой фазы, незначительное поровое пространство (33–45 %), накопление в иллювиальных горизонтах илистых частиц, изученные почвы подчиненных ландшафтов характеризуются наименьшей степенью устойчивости к нефтяному загрязнению.

Характер распределения нефтяных компонентов зависит от ряда факторов, определяющих пеструю картину их реального распределения в почвенном профиле. Однако в

качестве критерия оценки относительной опасности и степени устойчивости почв к загрязнению используются преобладающий тип водного режима и гранулометрический состав [7]. На основании изложенных критериев и принадлежности почв к определенным элементарным ландшафтно-геохимическим системам оценена относительная опасность нефтяного загрязнения для условий средней тайги Западной Сибири (табл. 1).

Как следует из табл. 1, каждый фактор несет определенную прогнозную информацию о возможном состоянии среды, а градации их развития соответствуют определенному уровню ее возможной устойчивости. Рассматривая показатели вдоль строки матрицы, т. е. изменения гранулометрического состава при фактически фиксированной принадлежности почв к определенному звену каскадно-геохимической системы, можно видеть, что относительная опасность загрязнения возрастает по мере утяжеления гранулометрического состава: песчаные и супесчаные почвы > суглинистые > глинистые. В частности, в песчаных подзолах элювиальных ландшафтов правобережья р. Оби, обладающих хорошими фильтрационными свойствами и, следовательно, низкой сорбционной способностью, нефть относительно равномерно мигрирует с нисходящими токами влаги до горизонта грунтовых вод. Если же идти вдоль любого столбца матрицы (при фиксированной принадлежности почв по гранулометрическому составу), то возможно устойчивое загрязнение субаэральных почв элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов по сравнению с аккумулятивными. Следовательно, при легком гранулометрическом составе почв и резко промывном водном режиме опасность их

Т а б л и ц а 1
Относительная опасность загрязнения почв ЭЛГС

Ландшафты	Почвы	Гранулометрический состав		
		Пески и супеси	Суглинки	Глины
Элювиальные (трансэлювиальные)	Подзолистые (глееподзолистые)	+	++	+++
Элювиально-аккумулятивные	Болотно-подзолистые	++	+++	++++
Аккумулятивные	Болотные	+++	++++	+++++
Пойменные	Аллювиальные	+++	++++	+++++

П р и м е ч а н и е. + очень слабая; ++ слабая; +++ умеренная; ++++ сильная; +++++ очень сильная.

загрязнения уменьшается и, наоборот, утяжеление гранулометрического состава и повышение степени гидроморфизма способствуют увеличению относительной опасности нефтяного загрязнения.

Степень воздействия того или иного антропогенного фактора во многом определяется буферностью почв, которая зависит от таких генетических свойств, как емкость катионного обмена, содержание органического вещества, наличие илистых частиц, окислительно-восстановительных условий, а также pH среды. Нефть является комплексным загрязнителем, воздействие которого на почвы и другие компоненты ландшафта определяется количеством, составом и свойствами как органических, так и неорганических соединений. Нефть в своем составе имеет большое количество химических элементов, в том числе тяжелых металлов. В связи с этим особый интерес представляет определение устойчивости почв к воздействию повышенных концентраций тяжелых металлов, под которой понимают потенциальный запас буферности почв [12]. Чем выше буферная способность почвы, тем большее количество тяжелых металлов она в состоянии переводить

в малодоступные для растений и слабо мигрирующие соединения. Таким образом, ограничивается движение избыточных количеств химических элементов по пищевой цепи и в сопредельные среды и, следовательно, почва обладает большей устойчивостью к химическому загрязнению. В соответствии с критериями, предложенными в работе [13], оценена буферность исследуемых почв, приуроченных к различным ландшафтно-геохимическим системам (табл. 2).

На основании количественных показателей гранулометрического состава, основных параметров химического состояния исследуемых почв и расчета их долевого участия в формировании буферной способности можно констатировать, что исследованные почвы обладают в основном низкой и средней степенью буферности. Очень низкая степень буферности характерна для подзолов иллювиально-железистых. Некоторое нарастание степени буферности наблюдается в почвах аккумулятивных ландшафтов, что, однако, не снимает высокой опасности нефтяного загрязнения в связи с образованием на пути миграции загрязнителя системы геохимических барьеров, представленных торфяными горизонтами.

Т а б л и ц а 2

Долевое участие свойств почвы в формировании ее буферной способности

Почвы	Количество баллов				Сумма баллов	Степень буферности
	Гумус	Физическая глина	pH _{водн.}	R ₂ O ₃		
<i>Элювиальные ландшафты</i>						
Подзолы иллювиально-железистые песчаные	1,0	2,5	2,5	2,5	8,5	Очень низкая
Подзолистые суглинистые	2,0	10,0	2,5	5,5	20,0	Низкая
<i>Трансэлювиальные ландшафты</i>						
Глееподзолистые	3,5	10,0	2,5	5,5	21,5	Средняя
<i>Элювиально-аккумулятивные ландшафты</i>						
Торфянисто-подзолистые глеевые	2,0	10,0	2,5	4,0	18,5	Низкая
<i>Аккумулятивные ландшафты</i>						
Болотные	3,5	10	2,5	4,0	25,0	Средняя
<i>Пойменные ландшафты</i>						
Аллювиальные луговые	3,5	10,0	2,5	4,0	20	Низкая

Очаг максимального загрязнения нефтяными компонентами наблюдается, как правило, в депрессиях. Осенне-зимнее накопление осадков в твердом виде и их таяние в весенний период приводят к формированию поверхностных токов вод, загрязняющих подчиненные ландшафты углеводородами и легкорастворимыми солями, формированию первичного ореола загрязнения. В летне-осеннее время происходит внутриландшафтное (внутрипочвенное) перераспределение загрязнителей и формирование вторичных ореолов углеводородов и легкорастворимых солей. Локализация загрязнителя в конечных звеньях геохимически сопряженных ландшафтов (пойменные ландшафтно-геохимические системы) может способствовать образованию локальных техногенных аномалий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя полученные нами результаты по степени опасности загрязнения почв различных звеньев ландшафтно-геохимических систем в пределах средней тайги Западной Сибири, а также принимая во внимание исследования [14], можно выделить следующие группы природных комплексов по степени устойчивости их к нефтяному загрязнению.

Первая группа – абсолютно неустойчивые комплексы (системы с низким потенциалом самовосстановления). К этой группе относятся озерно-болотные комплексы, характеризующиеся накоплением тяжелых фракций углеводородов в грунтовых и донных отложениях, отсутствием геохимических барьеров.

Вторая группа – это болотные комплексы, характеризующиеся чередованием грунтовых отложений (минеральных и торфяных), наличием участков водных пространств, сочетанием сорбционного органогенного барьера (кислородного на приозерных участках) и латерального. В этой группе комплексов господствует восстановительная среда. При неблагоприятных почвенно-геохимических условиях, в частности при наличии восстановительной глеевой обстановки, битуминозные компоненты в почвах и грунтах сохраняются очень долго. В целом, это неустойчивые комплексы, легко нарушаемые, с низким потенциалом самовосстановления. Такие комплексы представлены почвами органоген-

ного ствола (болотные низинные и болотные верховые).

К третьей группе относятся комплексы речных долин, придолинных поверхностей, заболоченных лесов, для которых характерны значительное увлажнение, пестрота литологического состава, наличие глеевого, сорбционного и кислородного барьеров. Для данных систем характерны сочетание окислительных и восстановительных условий и переменные устойчивые и относительно устойчивые комплексы, обладающие низким потенциалом самовосстановления. Преобладающими здесь являются болотно-подзолистые и аллювиальные почвы.

Для четвертой группы междуречных дренированных поверхностей характерны относительная однородность грунтов, глубокое залегание грунтовых вод, наличие почв тяжелого гранулометрического состава, значительная контрастность радиальных барьеров. В условиях данной группы наблюдается активное проявление окислительных и восстановительных процессов. Это относительно устойчивые системы, обладающие сравнительно высоким потенциалом самоочищения. К ним приурочены почвы субэриальных элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов, представленных почвами постлитогенного ствола: отделы альфегумусовых и текстурно-дифференцированных (подзолы, подзолистые, глееподзолистые почвы). В пределах данной группы почв основными критериями, определяющими разные уровни относительной опасности загрязнения органическими поллютантами, будут буферность и гранулометрический состав почв.

Таким образом, подтверждается положение работы [12] о том, что в одних и тех же или близких географических условиях разные группы природных комплексов (например, автономные ландшафты водоразделов или подчиненные ландшафты долин) обладают разными пороговыми уровнями устойчивости – разной “естественной емкостью” даже к однотипным техногенным нагрузкам. Можно считать, что в условиях гумидного почвообразования неблагоприятные условия для самовосстановления характерны для всех техногенно загрязненных почв, однако в почвах аккумулятивных ландшафтов эти процессы наиболее сложны и длительны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Середина В. П., Андреева Т. А., Алексеева Т. П., Бурмистрова Т. И., Терещенко Н. Н. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 270 с.
2. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. 237 с.
3. Солнцева Н. П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. 2002. № 1. С. 9–20.
4. Почвенно-географическое районирование СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 423 с.
5. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 490 с.
6. Солнцева Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 369 с.
7. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов (ландшафтно-геохимические процессы). М.: Географический ф-т МГУ, 2007. 350 с.
8. Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Основные горизонто- и профилообразующие процессы в почвах России // Почвообразовательные процессы. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2006. С. 13–39.
9. Середина В. П., Харахордин В. Н., Непотребный А. И. Особенности миграции и аккумуляции нефти и нефтепродуктов в почвах южной тайги Западной Сибири: мат-лы 5-го Всерос. съезда общества почвоведов. Ростов-на-Дону, 2008. С. 61.
10. Середина В. П., Непотребный А. И. Прогнозно-эволюционные аспекты посттехногенных трансформаций почв нефтезагрязненных экосистем южной тайги Западной Сибири // Эволюция почвенного покрова. История идей и методы, голоценовая эволюция, прогнозы / Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Пущино, 2009. С. 292–293.
11. Пиковский Ю. И. Природные техногенные потоки углеводов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.
12. Глазовская М. А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 101 с.
13. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 227 с.
14. Коркина Е. А. Устойчивость почв правобережья средней Оби к техногенным нагрузкам нефтегазодобывающего комплекса // Вестник ТГУ. 2005. № 15. С. 183–184.

Soil of Oil Deposits in the Middle Taiga of West Siberia and the Predictive Estimate of the Danger of Pollution with Organic Pollutants

V. P. SEREDINA, M. E. SADYKOV

*Tomsk State University
634050, Tomsk, Lenin ave., 36*

*Public Corporation TomskNIPIneft
634027, Tomsk, Nakhimov str., 8
E-mail: soil@bio.tsu.ru*

Regularities of the distribution of background soil of oil deposits in the middle taiga of West Siberia were studied. The features of morphogenetic and physicochemical properties of soils were revealed. It was proved experimentally that the danger of soil pollution with oil components depends on the position of soil in the elementary landscape-geochemical systems (ELGS), on the granulometric composition and buffer capacity. The results may be used to perform soil ecological monitoring and soil revegetation.

Key words: soil, landscape-geochemical systems, oil deposits, middle taiga, properties, stability.