

С.Н. ДОСБЕРГЕНОВ

УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕРО-БУРЫХ ПОЧВ ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ

(Исследовательский центр почвоведения и агрохимии
им. У.У. Успанова)

Приводятся результаты многолетних исследований на мониторинговой площадке нефтегазового месторождения Озен (серо-бурые почвы) путем сравнительного эколого-генетического изучения полнопрофильных ненарушенных почв, техногенно измененных, нефтехимически загрязненных и засоленных сточными промышленными водами. Изучены устойчивость техногенной трансформации серо-бурых почв при нефтекомпании.

Для рационального природопользования необходимо знать не только возможные формы изменений природных процессов, обусловленные техногенными (ТГ) воздействиями, но также устойчивость таких изменений. Техногенно обусловленные изменения свойств почв в значительной степени определяют устойчивость существования техногенных модификаций ландшафтов в целом: рекультивация загрязненных почв вообще невозможна без учета этих признаков.

Поэтому необходимо изучение степени устойчивости новообразований характера измене-

ний физико-химических и морфологических свойств почв на разных этапах их посттехногенного развития.

Изучение устойчивости изменений морфологических и физико-химических свойств почв в сфере влияния нефтекомпании было начато на примере серо-бурых почв Озенского нефтегазового месторождения. Нефтехимическое загрязнение почв отмечается по всей мониторинговой площадке нефтегазовой скважины ГУ-85, 1992, НГДУ-1, производственного управления Озенмунайгаз, которая введена в производство в 1991

году. Глубина скважины 1369 м, дебит 10 м³/сутки.

Нефть Озенского месторождения отличается высоким содержанием парафинов и смолисто-селикогелевых веществ. Высокое содержание смол-селикогелевых углеводородов и парафина является главным фактором формирования в профиле почвы битумных кор (табл.1).

Загрязнение происходит на всех стадиях разработки, поиска, разведки, освоения, эксплуатации и хранения нефти. Основными причинами загрязнения почв являются разрывы нефтепроводов, аварийное фонтанирование скважин, технологические нарушения при хранении. При загрязнении сырой нефтью увеличивается засоленность почв.

При этом источниками загрязнения служат нефтяной шлам, минерализованные сточные промысловые воды, углеводороды, оксиды серы и азота, газовый конденсат и другие.

Нефтехимическое загрязнение сопровождается насыщением профиля почвы сырой нефтью и нарушением важнейших генетических показателей: изменяется естественный морфологический профиль, химические, водно-физические и биологические свойства, формируются плотные битумные коры.

Сырая нефть включает помимо собственно нефтяных компонентов, попутную пластовую воду и закачиваемый в пласт для поддержания давления морской, альбсеноманская и другой воды, находящуюся с нефтью в различных соотношениях (табл.2).

Вследствие этого образуется комплексный загрязнитель, воздействие которого на почвы и другие компоненты ландшафтно-геохимических систем определяется количеством, составом и свойствами как органических, так и неорганических соединений.

Свойства почвы как гетерогенной системы определяют характер фракционирования этого многокомпонентного загрязнителя: частичное расслоение по удельному весу, вязкости, активности взаимодействия с почвенной массой и т.д. Почвы при этом играют роль хромотографической колонки, где происходит расслоение нефтяного потока на нефтяные компоненты, задерживающиеся в верхних почвенных горизонтах, и минерализованные воды, которые, будучи более тяжелыми и менее вязкими, быстрее проникают в нижних горизонты. С течением времени дифференциация вещества углубляется. При движении нефтяных компонентов в почвенном профиле происходит сорбция асфальтено-смолистых компонентов нефти. В нижних горизонтах почвенного профиля уменьшается как количество, так и молекулярной вес нефтяных компонентов[1].

Характер распределения нефтяных компонентов в почвах зависит от ряда факторов: основными из них являются физические и физико-химические свойства конкретных почв, их положение в системе геохимических сопряжений элементарных ландшафтов, количество и состав поступившей нефти, время, прошедшее с момента загрязнения. Все это определяет очень пеструю картину реального распределения нефтя-

Таблица 1. Химический состав нефтей Озенского месторождения

Месторождение	Плотность г/см ³	Содержание, %		
		Парафина	Смол-селикогелевых	Асфальтеновых
Озен	0,866	20,4	20,5	0,6

Таблица 2. Солевой состав минерализованных сточных вод (в г-л/мг-экв)

Название	Общая щелочность HCO ₃	C1	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Минера- лизация г/л
Жанаозен	0,634 10,39	26,70 753,12	1,224 25,51	2,046 120,31	0,807 66,38	13,74 594,41	0,193 4,92	45,704

ных компонентов в почвах территорий нефтепромыслов.

Первоначально сложный рисунок распределения нефтяных веществ в почвенном профиле зависит главным образом от механизма миграции нефти в почве и наличия в ней почвенно-геохимических барьеров.

Как показали полевые исследования морфологических особенностей загрязненных серо-бурых почв для их верхних горизонтов (гумусового) характерно в основном фронтальное просачивание нефти, которая может полностью насыщать эти горизонты, не создавая существенных различий между отдельными почвенными блоками. Концентрация нефти в верхних органогенных горизонтах (исходные $A_k A_n$) в таких случаях может достигать 10-20% от веса почвы.

Основными механизмами проникновения нефти в более глубокие горизонты является гравитационное стекание по ослабленным зонам-каналам миграции, что сопровождается насыщением нефтью объемов магистральных каналов, активным всасыванием в межпелевые плоскости и диффузией в межтрещинную массу.

Определенной защитой от проникновения основной массы нефти в самые нижние части почвенного профиля в суглинистых почвах являются сорбционные барьеры: органогенные горизонты верхних частей профиля и иллювиальные горизонты ($A_k A_n B$). В последних (B) часто заканчиваются каналы миграции, и тогда в этих горизонтах создаются зоны повышенной битуминозности, где сорбируется основная часть асфальтено-смолистых компонентов, прошедших верхний сорбционный барьер.

При загрязнении НП (нефтепродуктами) в ландшафте происходит достаточно глубокая трансформация свойств почв. Прежде всего происходит их интенсивное засоление (таблица 3). Тип химизма хлоридно-натриевый, который соответствует составу пластовых и сточных вод нефтепромысла. Количество водорастворимых солей достигает токсичных для растений концентрации до 1,58%. Сравнение почвенных разрезов незагрязненных и загрязненных почв показывают, что засоление суббореальных серо-бурых почв, возникающее при поступлении в них сырой нефти, оказывается более устойчивыми, чем незагрязненных почвах. Часть солей остаются долгое время связанной в нефтяных эмульсиях и

не поддаются быстрому вымыванию атмосферными осадками, поступление минеральных компонентов из нефти в природные миграционные потоки происходит по мере ее выветривания.

Наряду с засолением наиболее яркими и важными вторичными реакциями «последствием» для всех загрязненных почв нефтепромыслов является перестройка почвенного поглощающего комплекса (таблица 4). Произошли заметные изменения в содержании поглощенных катионов. Суммарное количество обменных катионов в верхних слоях почвы возрастало до 15,67 мг/ЭКВ на 100 г почвы. Среди катионов увеличиваются доля магний - иона, поглощение натрия почвой сопровождается вытеснением кальция и магния.

Интенсивность и формы изменений почв во многом зависит от длительности взаимодействия загрязнителя с почвенной массой. В почвах загрязненных сточными водами и нефтью через три года после загрязнения содержание натрий – иона в ППК (почвенном поглощающем комплексе) приблизительно в 1,5-2 раза превышает контрольные в верхних горизонтах. Содержание магния увеличивается соответственно в 3-4 раза.

При равной исходной интенсивности солевого давления устойчивость трансформации поглощающего комплекса рассматриваемых почв разная. Достаточно резко эти различия проявятся через 15 лет после загрязнения. В почвах загрязненных сырой нефтью, максимум концентраций натрий – иона смешается из горизонта A_k в горизонт A_p . Даже в краевой зоне ореолов нефтяного загрязнения, где исходное засоление было ниже, чем при засолении сточными минерализованными водами, остаточная солонцеватость почв достаточно высока.

Приведенные примеры показывают, что скорость трансформации нижних горизонтов отстает от скорости трансформации верхних.

При многократном загрязнении почв сырой нефтью и сточнопромысловыми водами накапливаются в почвенно-поглощающем комплексе катионы магния, натрия и кальция по сравнению фоновыми. Эти поглощенные катионы со истечением времени возрастают. Среди них кальций в 2 раза, магний в 4 раза, натрий в 2 раза, а калий наоборот снижается в 2 раза.

Сопряжено с динамикой содержаний поглощенного натрия происходит изменения реакции загрязненных нефтью почв. В фоновых почвах

Таблица 3. Содержание водно-растворимых веществ в незагрязненных и нефтезагрязненных почвах,
% к воздушно-сухой почве

№ разреза почвы	Глубина см	Сумма солей	Общая щелочность в HCO_3^-	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na	K	Эквивалентные отношения				
										$\frac{\text{Cl}}{\text{HCO}_3^-}$	$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$		
P-5 Быстро- зараста- ющая	0-7	0,807	0,017	0,245	0,080	0,008	0,184	0,004	31,45	1,23	1,70	0,18	2,00	11,42
	7-22	0,162	0,032	0,022	0,057	0,006	0,042	0,008	1,17	0,51	3,62	0,66	6,03	9,05
P-2A Битуминоз- ный солончак	22-35	0,174	0,035	0,027	0,057	0,004	0,002	0,048	0,004	1,31	0,64	5,27	1,00	10,55
	35-50	0,225	0,025	0,035	0,092	0,008	0,002	0,062	0,008	2,38	0,52	4,53	0,50	6,8
P-2A Битуминоз- ный солончак	0-7	1,587	0,006	0,218	0,864	0,294	0,021	0,179	0,002	61,50	0,34	0,47	0,118	0,53
	7-42	1,079	0,018	0,010	0,734	0,283	0,011	0,015	0,008	0,90	0,02	0,04	0,06	0,05
P-2A Битуминоз- ный солончак	42-95	0,962	0,017	0,027	0,630	0,126	0,021	0,140	0,001	2,75	0,06	0,76	0,28	0,97
	95-120	1,138	0,008	0,085	0,705	0,289	0,015	0,034	0,002	17,14	0,16	0,09	0,09	0,11

Таблица 4. Изменение поглощенных оснований в зависимости от длительности загрязнения

№ разреза и время пропедущее после загрязнения, почва	Глу- бина, см	Соль водорастворимая, мг/л	Поглощенные основания, мг-экв на 100 г почвы			Поглощенные основания % от суммы			pH			Сумма солей, %	
			Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K			
P-2 A Через 3 года Битуминозная солончаковая	Ак 0-8	15,67	9,30	4,90	1,20	0,27	59,35	31,26	7,66	1,73	8,59		
Ап	8-36	11,19	5,40	3,40	2,15	0,24	48,25	30,38	19,22	2,15	9,39		
В	36-75	20,40	13,70	5,90	0,68	0,12	67,16	28,92	3,33	0,59	8,45		
P-2A Через 15 лет Битуминозный солончак	Ак 0-2	24,59	13,70	9,20	1,35	0,34	55,71	37,42	5,49	1,38	8,31	1,58	
Ап	2-30	19,40	8,30	8,30	2,59	0,21	42,78	42,78	13,36	1,08	8,27	1,08	
В	30-60	26,32	12,30	11,80	2,07	0,15	46,73	44,83	7,86	0,58	8,80	0,96	
Контроль. Серо-бурая солончаковая почва	Ак 0-3	10,85	8,00	1,50	0,71	0,64	73,73	13,82	6,55	5,90	8,95	0,83	
Ап	3-14	16,20	8,00	6,50	1,16	0,54	49,38	40,12	7,17	3,33	9,00	1,19	
АВ	14-35	21,83	12,0	7,50	2,15	0,18	54,97	34,36	9,85	0,82	8,86	0,99	
В	35-51	22,86	12,50	8,50	1,71	0,15	54,68	37,18	7,48	0,66	8,86	1,13	

реакция водных суспензий по всему профилю щелочная и колеблется в пределах 8,86-9,0. В третий год после загрязнения, она становится сильно щелочной и в верхней части профиля доходит pH до 9,30. Через 15 лет после загрязнения максимум щелочности «сползает» в нижние горизонты, при этом в верхних щелочность постепенно уменьшается.

Сравнительный анализ во времени показывает, что с продолжительностью загрязненность почвы продуктами нефтехимии возрастает, так как многократное загрязнение сырой нефтью приводит к увеличению содержания органического вещества. Содержание органического вещества в почвах с трех годичным давностью загрязнения располагается в пространстве следующим образом (таблица 5).

По мере удаления от скважины содержание органического вещества уменьшается. На расстоянии 100 м. от скважины в верхнем 0-10 см горизонте содержание органического вещества сократилось в 1,5 раза. В расчетном слое 0-30 см изменение в их содержании не происходило. Это связано с предшествующим более мощным техногенным потоком и более медленном деструкцией битуминозных веществ. На глубине 0-50 содержание органического вещества вновь уменьшилось в 1,65 раза. В почвах с пятнадцати летней давностью загрязнения содержание органического вещества изменилась только в верхнем 0-10 см слое. В нижних горизонтах больших изменений не происходило. С течением времени битуминозные вещества деградируют. Верхняя часть почвы освобождается от основной массы простых солей. Происходит глубокая перестройка химических свойств почв.

В зависимости от характера загрязнения изменяются и морфологические характеристики исходных почв, отчетливо фиксируемые как при

полевых описаниях почвенных разрезов, так и при изучении проб почв с нарушенной структурой под бинокуляром и в шлифах. Наиболее ярко эти изменения проявляются в цветовых характеристиках почвенных горизонтов в коричнево-бурого цвета характер границ между горизонтами, формирование не обычных для серо-бурых почв новообразований (например, выцветов простых солей, образование густиков супесей и образование карбонатного горизонта, образование мелких кристаллов гипса далее образование крупных комков гипса.)

Устойчивость отдельных морфологических новообразований неодинакова. Имеющийся фактический материал, частично приведенный анализ выше, позволил в общих чертах оценить устойчивость техногенно обусловленных модификаций свойств почв (табл.6).

В окислительной обстановке долгое время сохраняются новообразованные конкреционные горизонты и прослои, обогащенные гидроокислами железа. В восстановительных условиях длительное время сохраняются повышенное содержание органического углерода: битуминозные компоненты нефти закрепляются наиболее активно в почвах суббореальных ландшафтов.

Анализ устойчивости тех или иных новообразованных признаков (табл.6) позволяет оценить способность модифицированных природных объектов к возврату в исходное состояние. Общим критерием устойчивости техногенно обусловленных изменений может быть их соответствие местным ландшафтно-геохимическим условиям.

Время процессов деградации – восстановления и степень их обратимости, являются важнейшими генетическими характеристиками природных систем в зоне техногенеза. Представляется полезным с этой точки зрения сравнение

Таблица 5. Содержание углерода в почвах, в различное время загрязнения нефтью, % к весу почвы

Разрез, Индекс почв	Глубина, см	Незагрязненный профиль (Р-1 контроль)	Возраст загрязнения		
			3 года		15 лет
			Расстояния от скважин		
Р-IN CK ^{CH}	0-10	0,91	1,81	1,21	2,09
	0-30	0,75	0,85	0,80	1,80
	0-50	0,62	0,78	0,52	0,97

Примечание. Ак - Акорковый, Ап - Аподкорковый горизонт, В - иллювиальный горизонт

Таблица 6. Относительная устойчивость новообразованных морфологических и геохимических свойств почв при загрязнении их сырой нефтью

Относительная неустойчивость	Новообразованные свойства и признаки при загрязнении сырой нефтью	
	Морфологические	Геохимические
Очень неустойчивые	Изменение внешнего калорита сырой нефти на поверхности почвы	Высокое содержания легколетучих компонентов нефти
Относительно неустойчивые	Увеличение мощности гумусового профиля, ослабление первичных признаков элювиальных горизонтов; корки, подушки битуминозных веществ на поверхности почв.	Высокое содержания водорастворимых солей повышенное содержащие закисные формы железа, ванадия
Относительно устойчивые	Изменение характера границ между горизонтами: возникновение языковатых, карманообразных границ из-за потечности органических веществ, резкая неоднородность морфологических признаков даже в пределах одного горизонта.	Перестройка поглощающего комплекса, внедрение Na^+ и Mg^{++} в поглощающий комплекс, изменение окислительно-восстановительного образования ржавчины железа. Аккумуляция $\text{V}, \text{Co}, \text{Fe}$
Устойчивые	Повышенное количество микроорганизмов, гипсовых друз, образование комков и глыб карбонатов, известняков	Перестройка дифференциации профиля по содержанию органического углерода и составу битуминозных компонентов.

временных показателей при трансформации отдельных свойств среды на разных этапах ее техногенно обусловленного развития с характерным временем естественного саморазвития тех же признаков в системах, аналогичных нарушенным. Характерное время (ТГ) техногенной трансформации всегда меньше, чем время восстановления измененного признака, а время восстановления больше или такое же, как время естественного саморазвития данного признака; по некоторым свойствам посттехногенное восстановление затруднено или становится вообще невозможным.

Итак, полной обратимости изменений не происходит – сохраняются «остаточные» признаки прошедших циклов трансформации. В частном случае это относится к дифференциации профиля по содержанию органического углерода, составу битуминозных компонентов, изменению щелочно-кислотных условий.

Выводы

Поступление геохимически активных загрязнителей (минерализованных вод и нефти) в серо-бурые солонцеватые почвы вызывает глубокие физико-химические и морфологические изменения их первичных свойств и признаков. В районах нефтедобычи в аридной зоне можно выделить следующие достаточно важные особенности посттехногенного развития серо-бурых почв:

1. Характер возникающих изменений, их динамика не остаются постоянными. В загрязненных почвах происходит непрерывная посттехногенная перестройка геохимических процессов во времени.

2. В зависимости от направленности изменений серо-бурых почв (относительно исходных фоновых показателей) можно выделить две основные стадии развития почв в зоне техногенеза:

а) деградации (в рассмотренном случае – это

формирование ТГ солончаков, а затем солончаковых и солонцевато – солончаковых почв),

б) восстановление (здесь – это этапы посттехногенного очищения от загрязнителей). Длительность существования каждой стадии – устойчивость характеризующих их морфохимических признаков, различна и зависит от: а) типа ТГ нагрузок (состава ТГ потоков); б) генетической лабильности или консервативности признака и его соответствия с общей физико-географической и ландшафтно-геохимической обстановкой территории. Устойчивость исходных и новообразованных свойств почв является важнейшей характеристикой процессов, протекающих в зоне техногенеза.

Для увеличения скорости посттехногенного восстановления ТГ солончаков, остаточно солончаковых почв, загрязненных нефтью, необходимы меры по ускорению минерализации битуминозных веществ, что усиливает фракционирование загрязнителей и способствует выводу солей за пределы почвенного профиля. Наиболее перспективным являются агротехнические приемы микробиологические разрушение битуминозных компонентов нефти, а также фитомелиоративные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. Изд-во МГУ, Москва, 1993. С.107-125.

Резюме

Шикі мұнайдың битумдік компоненттерінің сұрқоныр топырақтардың морфологиялық, физикалық, химиялық қасиеттеріне тигзестін өсірі қарастырылады. Топырақ кескінінде гетрогендігі көп компонентті ластандыруышылардың фракциалану сипаттың анықтайды.

Топырақ кескініндегі битумдік заттардың орналасу күрделілігі айқындалған. Осындау күрделілік мұнайдың топырақтағы миграциялану механизміне, сонымен катар топырақты-геохимиялық барьерге байланысты.

Топыраққа түскен мұнай ластанған топырактардағы жалпы органикалық көміртегін арттырады.

Топырақтың морфохимиялық белгілерінің сипаттамалық тұрақтылығы техногендік салмақтың типтеріне, генетикалық тұрақсыздық немесе консервативтік белгілеріне және олардың аумактық физика-географиялық жағдайларының жалпы сойкестілігіне байланысты.

Summary

The effects of crude oil bituminous components on certain properties of gray brown soils are considered. The heterogeneity of a soil profile has been to determine the character of functioning of this multicomponent pollutant (partial separation according to specific weight, viscosity, activity of interaction with the soil mass). It has been elucidated that the complex pattern of bituminous substances distribution in a soil profile depends on the mechanism of oil migration in the soil, on the inner properties of theses substances and, particulary, on the presence of soil-geochemical barriers.

The inflow of oil into soil alters the total content of organic carbon in the upper horizons of polluted soils.

Stability of morfochemical indications depends of type technogenic loading, genetic labenty or conservative indications and geographical situation of territory.