

УСТОЙЧИВОСТЬ ПУСТЫННЫХ ПОЧВ ПРИКАСПИЯ К НЕФТЕХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

А.С. Сапаров, С.Н. Досбергенов, Б.Е. Шимшиков, И.К. Асанбаев

*Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова,
050060, Алматы, пр. аль-Фараби, 75 в, Казахстан*

Проведенные исследования позволили сравнить почвенный покров нефтезагрязненных территорий Атырауской и Мангистауской областей, их потенциальную способность к самоочищению от техногенных углеводородов. Устойчивость почв к углеводородному загрязнению зависит не только от природных факторов и характеристики среды, но и от состава загрязнителя и первоначальной его концентрации.

ВВЕДЕНИЕ

Под устойчивостью почв понимается ее свойство сохранять нормальное функционирование и структуру, несмотря на разнообразные внешние воздействия. Общеизвестно, что на равное воздействие различные почвы реагируют по-разному. Реальная устойчивость почв к антропогенному воздействию определяется как способностью почвы к нейтрализации воздействия за счет собственных буферных свойств и ликвидации последствий воздействия в процессе самовосстановления, так и "сбрасыванием" воздействия за пределы экосистемы благодаря положению в катене.

Проблема устойчивости природной среды к техногенному загрязнению обсуждается довольно активно. М. А. Глазовская [1] рассматривает геохимическую устойчивость почв как их способность поддерживать постоянство своих химических характеристик. Она разделяет всю сумму показателей устойчивости природных систем к техногенным воздействиям на три группы, определяющих: 1) вынос и рассеяние продуктов техногенеза; 2) интенсивность метаболизма продуктов техногенеза; 3) возможность и интенсивность закрепления в ландшафтах продуктов техногенеза. На базе этих критериев М. А. Глазовская выделила типологические группы техногеобиомов – прогнозных районов, в которых изменения среды при тех или иных техногенных воздействиях происходит по сходному сценарию. Технобиogeомы легли в

основу прогнозного ландшафтно-геохимического районирования территории бывшего СССР по изменениям природной среды при нефтедобыче.

Потенциальная способность почв к самоочищению от углеводородов нефти, как считают Ю.И. Пиковский и А.Н. Геннадиев [2], обуславливаются следующими главными группами факторов, определяющими: 1) биологическое и физико-химическое разложение углеводородов в почвах; 2) механическое рассеяние углеводородов и продуктов их метаболизма. Указанные процессы действуют в одном направлении и независимо друг от друга, уменьшая первоначальную концентрацию углеводородов в почве. Оптимальное сочетание этих процессов обеспечивает наиболее благоприятные условия для самоочищения почв.

Скорость самоочищения почв от углеводородов нефти и даже сама возможность этого процесса зависит не только от природных факторов и характеристики среды. Важнейшее значение имеют состав загрязнителя и первоначальная концентрация его в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на мониторинговых площадках, выбранных на территории месторождений Озен, Тенгиз и Доссор, путем сравнительного изучения полнопрофильных ненарушенных почв, техногенно измененных, нефтехимически загрязненных и засоленных сточными промышленными водами почв. Мониторинговая площадка

соответствует территории влияния одной нефтегазовой скважины на общей площади 10000 м². В процессе исследований применялись сравнительно-экологический, картографический, полевой, стационарный, лабораторно-аналитический, статический, графический и другие методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение устойчивости изменений морфологических и физико-химических свойств почв в зоне влияния нефтедобычи 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. На площади 1,5-2,0 га вокруг скважины видны следы предыдущей деятельности в виде неровностей рельефа, остатков технологического оборудования, строительного мусора, металлолома. Такие нарушения хотя и носят локальный характер, но всегда сопровождаются менее сильными, но более значительными по площади нарушениями почв и растительности на прилегающих территориях.

Механические нарушения почв выражаются в уничтожении плодородного слоя, разрушении их структурного состояния и переуплотнении, изменении микрорельефа (ямы, канавы, отвалы, выбросы, колеи дорог). Наши исследования показывают, что допустимые уровни антропогенных нагрузок значительно выше на хорошо гумусированных структурных почвах, чем на малогумусированных, бесструктурных.

Полевые почвенные исследования в пределах мониторинговых участков позволяют сделать вывод о низких естественных показателях буферности почв обследованной территории. Почвенный профиль характеризуется малой мощ-

ностью и низким содержанием гумуса (1-2 %). В этой связи для данной территории определяющими критериями устойчивости почв являются механический состав, особенности водного режима и распределение солей по профилю [3].

По данным многих исследователей влияние механического состава на удельное сопротивление почв является определяющим. Согласно «Научно-методическим указаниям по мониторингу земель Республики Казахстан», по содержанию частиц физической глины (фракции менее 0,01 мм) степень устойчивости почв антропогенному воздействию механического характера определяется показателями: более 20 % - сильная, 10-20 % - средняя, менее 10 % - слабая.

Анализ почвенных проб отобранных на территории обследованных участков на гранулометрический состав показывает, что почва характеризуется различной устойчивостью к механическому воздействию. Слабой устойчивостью к механическому воздействию отличаются почвы вблизи месторождений Бек-Беке, Искене.

Реакция экосистем и составляющих их компонентов (почв и растительности) на антропогенные механические воздействия во многом определяются погодными условиями и сезоном проведения работ. При этом часто на роль ведущего фактора, определяющего устойчивость почв, выходит водный режим. Почвы гидроморфного ряда – луговые, солончаки – в весенний и раннелетний периоды находятся в переувлажненном состоянии и практически не проходимы для тяжелой техники. Просыхая осенью и замерзая зимой, они становятся доступными для проведения работ и в это время нарушения почв становятся наименьшими.

Другим не менее важным внешним фактором, определяющим характер воздействия, является ветровая активность. Работа на участках с почвами легкого механического состава весной в период наибольшей эоловой активности может

сопровождаться резким усилением процессов дефляции.

При загрязнении нефтепродуктами в ландшафте происходит достаточно глубокая трансформация свойств почв. Прежде всего происходит их интенсивное засоление. Тип химизма хлоридно-натриевый, который соответствует составу пластовых и сточных вод нефтепромысла. Количество водорастворимых солей достигает токсичных для растений концентраций (до 1,58 %). Сравнение почвенных разрезов незагрязненных и загрязненных почв показывают, что засоление серо-бурых почв, возникающее при поступлении в них сырой нефти, оказывается более устойчивыми, чем в 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 [4].

Формы морфологических и геохимических изменений в этом случае во многом определяются соотношениями между количеством битуминозных веществ, уровнем минерализации связанных с ними вод, процентным содержанием этих вод в техногенных потоках, поступивших в почвы. Изменение геохимических процессов определяются разрушающим действием рассолов, поступающих в составе нефтей и воздействием высоких концентрацией битуминозных веществ. Содержание солей достигает целых процентов уже в поверхностных горизонтах почв. Одновременно увеличение количества органических соединений и ухудшение воздушного режима почв усиливают процессы оглеения. Изменяются соотношения форм железа, количество общего углерода и свойства поглощающего комплекса. Возникают специфические почвенные разности: битуминозные солончаки и битуминозные солончаковатые почвы, сохраняющие морфологическую дифференци-

ацию профиля, типичную для серо-бурых почв. Длительность этой стадии рассоления в определенной степени зависит от скорости трансформации поступающей нефти, т.е. скорости естественного обессоливания загрязнителя. Поэтому относительная скорость рассоления загрязненных нефтью почв значительно ниже, чем почв, засоленных сточными водами. Некоторые обретенные в эту стадию свойства оказываются достаточно устойчивыми и сохраняются на всех последующих этапах развития загрязненных почв. К таким показателям относится, в частности, распределение углерода в профиле. Во второй стадии верхняя часть профиля почв освобождается от основной массы простых солей, которые в относительно высоких содержаниях могут сохраняться только в нижних горизонтах. Для геохимии почв на этой стадии их техногенно обусловленного развития характерна глубокая перестройка химических свойств, изменений соотношений катионов в составе поглощенного комплекса (очень высокая доля Mg^{++}). Содержание этого элемента в поглощающем комплексе достигает 16 % и более. Специфика новообразованных геохимических обстановок в разных частях почвенного профиля определяет одну из наиболее характерных особенностей этой стадии развития загрязненных почв – максимальные несоответствия в скорости и формах трансформации почвенно-геохимических процессов в отдельных почвенных блоках. Так, в верхних горизонтах профиля уже может начаться процесс релаксации свойств, в нижних же горизонтах продолжается их активная деградация. На этом этапе продолжают изменения морфологии почвенного профиля: существенно трансформируются собственно элювиальные горизонты (Ap), проявляется комковатость, изменяется цвет. В ряде случаев это приводит к замещению исходно элювиального горизонта солонцеватым гумусово-остаточно-элювиальным, изменению мощности горизонтов, степень их

ожелезненности и т. д. Анализ полученных материалов показывает, что ряд свойств, характеризующих почвы на этом этапе их развития-высокое содержания магния и натрия в поглощающем комплексе, щелочность верхних горизонтов, потечность органо-минеральных соединений свидетельствует о протекании процессов осолонцевания. В зависимости от реального соотношения в профиле почв остаточных количеств легкорастворимых солей битуминозных веществ, процентного содержания магния и натрия в поглощающем комплексе и других свойств формирующиеся на этом этапе почвенной разности могут иметь несколько вариантов: а) битуминозные глубоко солончаковатые почвы, б) битуминозные солонцевато-солончаковатые почвы, в) битуминозные солончаковато-солонцеватые почвы [5]. Стадии специфически выраженного осолонцевания значительно более устойчивы, чем стадии битуминозных солончаков. За 15 лет признаков сколько-нибудь активного ослабления этих процессов не отмечается. Некоторые химические и морфологические свойства, приобретенные почвами на этой стадии их развития оказываются достаточно устойчивыми. К таким устойчивым показателям относится изменение состава поглощенных катионов, вынос соединений азота, перестройка морфологии профиля, а именно размеров и форм структурных отдельностей, границ между горизонтами. В последующих стадиях развития устойчивость новообразованных химических признаков в

почвах определяется степенью совместимости геохимии поступающих веществ с геохимическими свойствами исходных фракций, принявших техногенные потоки. Рассмотренные выше сочетания химических и морфологических признаков, возникших в почвах после их загрязнения нефтью, не соответствуют местным ландшафтно-геохимическим условиям и поэтому не могут быть устойчивыми. Однако ограниченность возможного срока наблюдений из-за относительной «молодости» промысла (менее 20 лет) не позволяет непосредственно проследить полный цикл трансформации загрязненных нефтью серо-бурых суглинистых почв. В то же время сопряженный анализ геохимии загрязненных почв, направленности их развития на первых стадиях и общих ландшафтно-геохимических условий района исследований позволяет с некоторой долей вероятности представить характер и формы их дальнейшей трансформации (в случае, если техногенные потоки на этих участках подновляться не будут). В условиях аридного климата окончательного освобождения от легкорастворимых солей всего почвенного профиля не произойдет [6]. Следующим этапом является вытеснение натрия из поглощающего комплекса и увеличение поглощенного магния. Этот период развития загрязненных почв должен сопровождаться перестройкой геохимическим формированием мощного щелочного барьера на границе верхних и нижних горизонтов профиля (таблица 1).

Таблица 1 - Схема техногенно-обусловленного развития загрязненных сырой нефтью серо-бурых почв

Основные геохимические процессы	Накопление битуминозных веществ в сочетании с активным засолением	Субаэральное выветривание битуминозных веществ в сочетании с рассолением	Осолонцевание и окарбонативание
Привнос веществ в ландшафтно-геохимические системы	Битуминозные солончаки	Битуминозные солончаковые почвы	Битуминозные солонцевато-солончаковатые почвы. Солончаковато-солонцеватые почвы

Наряду с засолением наиболее яркими и важными вторичными реакциями «последствием» для всех загрязненных почв нефтепромыслов является перестройка почвенно-поглощающего комплекса. Произошли заметные изменения в содержании поглощенных катионов. Суммарное количество обменных катионов в верхних слоях почвы возросло до 15,67 мг/экв на 100 г почвы. Среди катионов увеличиваются доля магний - иона, поглощение натрия почвой сопровожда-

ется вытеснением кальция.

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

Таблица 2 - Изменение химических свойств серо-бурых почв через разное время после их загрязнения

№ разреза, индекс почвы	Индекс горизонта	Глубина, см	Поглощенные катионы, мг/экв				Сумма поглощенных оснований, мг/экв	Сумма солей, %	Подвижные, формы мг/кг			Гумус, %	pH
			Ca	Mg	Na	K			N	P	K		
Р-2 N через 3 года Ск ^{CH}	А _к	0-8	9,3	4,9	1,2	0,3	15,7					1,6	8,6
	А _{ПК}	8-36	5,4	3,4	2,2	0,2	11,2					1,5	9,3
	В	36-75	13,7	5,9	0,7	0,1	20,4					1,5	8,5
Р-2А через 15 лет Ск ^{BT}	А _к	0-2	13,7	9,8	1,4	0,3	25,2	1,6	50,4	16,0	350	2,5	8,4
	А _{ПК}	2-30	8,3	8,3	2,6	0,2	19,4	1,1	61,6	31,0	280	2,7	8,3
	В	30-60	12,3	11,8	2,1	0,2	26,3	1,0	39,2	6,0	110	2,3	8,8
Р-1 через 15 лет Ск ^K	А _к	0-4	16,0	5,0	1,5	0,2	22,7	1,3	58,8	3,0	390	2,1	8,3
	А _{ПК}	4-17	15,0	16,0	2,1	0,2	22,9	0,4	47,6	3,0	330	1,8	8,7
	В	17-51	16,5	6,0	0,9	0,1	23,5	0,8	39,2	3,0	140	2,5	8,3
Контроль Сб ^{СК}	А _к	0-3	8,0	1,5	0,7	0,6	10,9	0,8	61,6	38,0	690	1,0	9,0
	А _{ПК}	3-14	8,0	6,5	1,2	0,5	16,2	1,2	58,8	43,0	620	0,9	9,0
	В	14-35	12,0	7,5	2,2	0,2	21,8	1,0	33,6	8,0	250	0,6	8,9
		35-51	12,5	8,5	1,7	0,2	22,9	1,1	28,0	4,0	190	0,4	8,9

На участках загрязненных нефтепродуктами на расстоянии 10 м от скважины суммарное количество обменных катионов при загрязнении в 0-30 см слое почвы возрастало в зависимости от степени загрязненности от 19,04 до 30,99 мг/экв на 100 г почвы. Среди катионов увеличивается доля кальция, который составляет 59,27 - 81,14 % от суммы. Содержание Mg во всех случаях значительно превышает количество Na и K. При увеличении концентрации нефти снижается значение pH от 8,6 до 8,3. Увеличение степени засоления с глубиной до 1,65 % связано с содержанием в сырой нефти минерализованных сточных вод.

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

ватость почв достаточно высока. Время процессов деградации – восстановления и степень их обратимости, являются важнейшими генетическими характеристиками природных систем в зоне техногенеза. Характерное время 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.

Таким образом, полной обратимости изменений не происходит – сохраняются «остаточные» признаки прошедших циклов трансформаций. В частном случае это относится к дифференциации профиля по содержанию органического углерода, составу битуминозных компонентов, изменению щелочно-кислотных условий [7].

В соответствии с приведенными данными в таблице 3 можно сделать вывод о низкой устойчивости почв характеризующей территории к антропогенным воздействиям.

Таблица 3 - Параметры устойчивости нефтехимически загрязненных почв к техногенной трансформации

Почвы	Шкалы параметров устойчивости						Суммарная
	1	2	3	4	5	6	
Бурые пустынные нормальные	0	1	0	3	4	1	9
Бурые пустынные засоленные	0	2	0	3	4	1	10
Бурые пустынные солонцеватые	1	2	0	3	4	1	11
Приморские примитивные засоленные	0	1	0	2	4	0	7
Луговые приморские засоленные	1	2	2	2	4	1	12
Солончаки луговые	0	2	2	0	4	2	10
Солончаки отакыренные	1	2	0	0	4	1	8
Такыры	0	0	2	0	4	0	6

В реальности характер ответной реакции почв на дестабилизирующие факторы может сильно варьировать в зависимости как от конкретных условий антропогенеза, так и от преобладания того или иного механизма устойчивости.

Наибольшей упругой устойчивостью обладают почвы, развитие которых свя-

зано с полугидроморфным и гидроморфным режимом формирования (луговые почвы, лугово-бурые почвы). Меньшей степенью упругой устойчивости характеризуются автоморфные почвы легкого механического состава (бурые пустынные нормальные почвы) (рисунок 1).



Рисунок - Карта-схема районирования территории Атырауской и Мангистаукой областей по устойчивости почв к загрязнению техногенными углеводородами

Условные обозначения к карте-схеме:

Обозначение степени устойчивости	Суммарная интенсивность физико-химического и микробиологического разложения углеводородов	Интенсивность миграции углеводородов в почвенном профиле	Устойчивость к загрязнению углеводородами
1	Низкая	Умеренная	Низкая
2	Умеренная	Слабая	Низкая
3	Умеренная	Умеренная	Низкая
4	Умеренная	Умеренная	Пониженная
5	Высокая	Умеренная	Высокая

На основании полученных материалов составлена карта-схема устойчивости почв для территорий Атырауской и Мангыстауской областей по условиям аккумуляции, трансформации и миграции органических поллютантов.

В группу наименее благоприятных условий физико-химической и биогеохимической деградации почв вошли лугово-болотные, болотные и солончаки луговые, обладающие из-за восстановительной обстановки и низкого уровня микробиологической активности очень слабой способностью к трансформации (окислению) органических загрязнителей.

К почвам с наиболее высокой окислительной способностью отнесены бурые пустынные, серо-бурые пустынные и их засоленные аналоги. К почвам с высокой микробиологической активностью относятся аллювиально-луговые, луговые, карбонатные насыщенные и другие, главным образом, незасоленные или слабо засоленные.

Группировка почв по условиям механического рассеивания поллютантов проведена с учетом содержания гумусовых веществ, гранулометрического состава и степени засоленности почв. Минимальной склонностью к сорбированию по всем параметрам, а следовательно и к накоплению органических поллютантов, обладают песчаные, бурые пустынные и их солонцеватые разности. Почвы, обладающие низкими сорбционными свойствами по одному признаку (гумусности или механическому составу) и средними по другому – представлены среднесуглинистыми бурыми засоленными и солонцами полупустынными, среднегумусными луговыми, аллювиальными насыщенными. Максимально высокой сорбционной способностью одновременно по всем параметрам органического и минерального профилей обладают высокогумусированные почвы, имеющие наиболее тяжелый гранулометрический состав – тяжелосуглинистый или глинистый. Сюда вошли аллювиальные луговые, лугово-болотные почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования позволили сравнить почвенный покров Атырауской и Мангыстауской областей по их потенциальной способности к самоочищению от техногенных углеводородов. В качестве исходных параметров для такого сравнения выбраны почвенные и климатические, так или иначе определяющие условия, которые благоприятствуют или затрудняют процессы физико-химического и биологического разложения нефти, нефтепродуктов и полициклических ароматических углеводородов в почвах, а также процессы механического рассеивания углеводородов и продуктов их метаболизма из ареалов первоначального загрязнения.

Процессы механического рассеивания, снижая концентрацию углеводородов, создают опасность загрязнения подземных и поверхностных вод и других компонентов ландшафта. Поэтому условия для протекания обеих групп процессов (разложения и рассеивания углеводородов) должны выявляться и показываться раздельно. С этих позиций необходимо подходить и к нормированию допустимых концентраций нефти, нефтепродуктов и ПАУ в почвах. Но при этом порог их допустимых концентраций не должен завышаться, так как здесь одновременно существует высокая опасность вторичного загрязнения водного компонента ландшафта.

В заключение необходимо подчеркнуть, что устойчивость почв к углеродному загрязнению зависит не только от природных факторов и характеристики среды. Важнейшее значение имеют состав загрязнителя и первоначальная концентрация его в почве. Основываясь на одних только природных факторах, можно лишь сравнивать между собой части территории по потенциалу самоочищения почв при одинаковых техногенных нагрузках. Почвы с высокой устойчивостью могут выдержать более высокие нагрузки, чем почвы с низкой устойчивостью, но они также будут деградировать, если нагрузка превзойдет допустимый уровень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР М.: Высшая школа. 1988. С. 328.
2. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И. Карта устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктов и полициклическими углеводородами: метод и опыт составления // Почвоведение. 2007. №1. С. 80-92.
3. Фаизов К. Ш. Почвы пустынной зоны Казахстана. Изд. Наука. Алма-Ата. 1980. С. 134.
4. Солнцева Н.П. Общие закономерности трансформации почв в районах нефтедобычи // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука. 1998. С. 23-42.
5. Пиковский Ю.И., Солнцева Н.П. Геохимическая трансформация зерново-подзолистых почв под влиянием потоков нефти // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. Изд: М.: Наука. 1981. С. 149-151.
6. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Проблема диагностики и нормирование загрязненных почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. №9. С. 1132-1140.
7. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрохимия. № 10. 1995. С. 109-113.

Түйін

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері топырақтың өз бетімен тазалану қабілеттілігі бойынша Атырау және Манғыстау облыстарындағы мұнаймен ластанған топырақтардың техногенді қысымға қарсы тұрақтылығын айқындайды. Топырақтың мұнаймен ластануға тұрақтылығы табиғи факторлармен ғана емес, сонымен қатар ластанған заттардың құрамы мен олардың концентрациясына байланысты болатыны анықталды.

Resume

Natural factors ensuring soil tolerance toward pollution with technogenic hydrocarbons, particularly, raw oil products and polycyclic aromatic hydrocarbons are considered. The self-purification capacity of the soil of arid regions with respect to their contamination with technogenic hydrocarbons are analyzed. The principles lying in the basis of these maps are discussed.