

УДК 631.4:574.4:504.054

ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫБРОСОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА

© 1996 г. С. Ю. Кайгородова, Е. Л. Воробейчик

Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Поступила в редакцию 13.11.95 г.

Действие тяжелых металлов в комплексе с сернистым ангидридом на серые лесные почвы южной тайги вызывает торможение деструкции активных фракций опада, разрушение почвенной структуры и развитие оглеения. Эти изменения регистрируются на морфологическом (формирование мощных специфических органогенных горизонтов, уменьшение агрегированности почв, фронтальная потечность гумуса, развитие сизо-серой окраски профиля, наличие большого количества железистых стяжений), физико-химическом (уменьшение содержания обменного кальция, увеличение актуальной и гидролитической кислотности) и биохимическом (уменьшение скорости деструкции целлюлозы и мочевины) уровнях.

В натурных исследованиях территорий, подверженных химическому загрязнению, почву часто рассматривают только как депо поллютантов или среду обитания педобионтов, которые и используют в качестве чувствительных индикаторов техногенных нагрузок. Анализ изменений под действием загрязнения от реальных источников выбросов собственно почвенных свойств уделяют меньше внимания. Исключение составляют процессы аккумуляции и миграции поллютантов и некоторые параметры поглощающего комплекса (Дончева, 1978; Ильин, 1991; Чертов, 1990; Чертов и др., 1990; Ромашкевич, Обухов, 1991; Лукина, Никонов, 1995). Более подробно действие поллютантов на почвенные характеристики исследовано в лабораторных и полевых экспериментах, особенно в отношении избыточного поступления кислотных агентов (Bache, 1980; Greszta et al., 1987; Флоринский, Седова, 1992). Недостаток информации, прежде всего по натурным наблюдениям, оставляет открытыми вопросы о характере модификации техногенным загрязнением направленности основных почвообразовательных процессов, масштабах и характерных временах изменений свойств почвенного тела.

В настоящее время предложены новые системы классификации техногенно-преобразованных почв (Геннадиев и др., 1992; Лебедева и др., 1993; Солнцева и др., 1990; Соколов, 1991). Химически загрязненные почвы среди них – наиболее сложный и слабо изученный объект. Это определяет актуальность поиска их диагностических критериев, который может быть эффективен при познании всего разнообразия процессов трансформации почвенного покрова.

Мы исследовали действие мощных потоков поллютантов (тяжелые металлы в комплексе с сернистым ангидридом) от длительно функционирующего точечного источника эмиссии (медеплавильный завод) на серые лесные почвы южной тайги. Выбор этого вида загрязнения не случаен. Специфика его токсического действия заключается в подкислении почвенных растворов, вызывающем увеличение подвижности и соответственно токсичности для биоты тяжелых металлов, что имеет крайне негативные последствия для лесных экосистем, которые при высоких уровнях загрязнения полностью деградируют. На таком фоне значительно легче, чем при других видах химического загрязнения, проследить закономерности трансформации почвенного покрова.

Данная работа – часть комплексных исследований состояния лесных экосистем, выполняемых в районе действия рассматриваемого источника выбросов. Их результаты частично опубликованы (Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик, 1995). Включение в анализ характеристик почвенного покрова дает возможность, с одной стороны, дополнить картину реакции природных комплексов на загрязнение, а с другой – сравнить масштабы трансформации почвы и других компонентов экосистем.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы проведены на территории, примыкающей с запада (направление против господствующих ветров) к Среднеуральскому медеплавильному заводу, расположенному на окраине г. Ревды Свердловской области. В рассматриваемом направлении техногенная пустыня простирается до 0.5 – 1 км от границы завода, импактная зона – до 2–3 км,

Таблица 1. Минимальные (min) и максимальные (max) величины поступления и депонирования поллютантов в разных зонах нагрузки

Параметр	Зона нагрузки					
	фоновая		буферная		импактная	
	min	max	min	max	min	max
Выпадение на 1 м ² в год, мг:						
Cu	39.65	92.63	66.46	236.81	125.67	1043.80
Pb	8.82	27.75	13.77	44.50	34.60	243.74
Cd	0.59	2.40	0.83	3.48	1.90	12.98
Zn	41.14	153.20	69.28	156.31	125.84	443.34
минеральные частицы, г	1.70	7.51	2.81	9.63	4.58	26.32
Концентрация в А1, мг/кг:						
Cu	32.48	71.18	114.59	422.03	396.28	596.38
Pb	21.94	37.44	22.16	180.36	95.96	265.39
Cd	0.84	1.55	1.80	6.91	2.74	10.02
Zn	35.67	60.27	64.00	91.95	72.83	91.11
pH _{водн.} в А1	5.04	6.24	4.48	5.77	4.37	5.17

буферная – до 6–7 км, фоновая территория расположена в 20–30 км. Величины модулей поступления и депонирования тяжелых металлов в разных зонах нагрузки приведены в табл. 1.

Пять ключевых участков заложены на территории техногенной пустыни (0.5 км от завода), в импактной (2 км), буферной (4 и 7 км) и фоновой (30 км) зонах в транс-аккумулятивных ландшафтах (нижняя часть склонов), где преобладают серые лесные почвы под пологом ельников-пихтарников разных ассоциаций. Характер техногенной трансформации растительности описан ранее (Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, Хантемирова, 1994). До начала действия завода (1940 г.) все ключевые участки предположительно имели сходный почвенный и растительный покров.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В июле 1994 г. и июле–августе 1995 г. на каждом ключевом участке по стандартной методике заложили пять полнопрофильных почвенных разрезов (отбор образцов по генетическим горизонтам провели в 1994 г.). Данные годы контрастны по условиям увлажнения: в 1994 г. сумма жидких осадков за весенне-летние месяцы была выше нормы, в 1995 г. – ниже.

Содержание обменных кальция и магния определяли трилонометрически, гидролитическую кислотность – по Каппену (“Практикум...”, 1989), pH_{водн.} – ионометрически в предварительно высушенных образцах (отношение субстрата к воде равно 1 : 5). Концентрации подвижных форм Cu, Pb, Cd, Zn в верхнем (0–5 см) слое гумусово-аккумулятивного горизонта измеряли в кислотных

вытяжках (5%-ная HNO₃, отношение субстрата к экстрагенту равно 1 : 5, время экстракции – сутки) на атомно-адсорбционном спектрофотометре ААС-3 фирмы Карл Цейс.

Скорость деструкции чистой целлюлозы определяли аппликационным методом (“Практикум...”, 1989) в свежих образцах органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтов по убыли воздушно-сухой массы фильтровальной бумаги при оптимальных гидротермических условиях (температура 25°C, полная влагоемкость), время экспозиции – 31 день. Скорость деструкции мочевины измеряли экспресс-методом (Аристовская, Чугунова, 1989) в тех же образцах при аналогичных условиях по интенсивности выделения аммиака (выражена в единицах изменения pH).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты, характерные для серых лесных почв Уральского региона (Фирсова и др., 1982, 1990), остается неизменной во всех зонах нагрузки (см. рисунок). Слабо трансформирован макроагрегатный состав минеральной части профиля, изменяется лишь степень выраженности его строения. Так, в горизонтах B1gh, B2gh, BCg импактной зоны преобладает неясно-ореховатое, комковатое, глыбисто-комковатое строение агрегатов, а на фоновой территории – мелкоореховатое, ореховатое и призматически-ореховатое. Более ярко выражено изменение текстуры гумусово-аккумулятивных горизонтов. Зернистое и комковато-зернистое строение в почвах фоновой территории сменяется пылевато-зернистым, пылеватым

и пылевато-комковатым в импактной. На загрязненных территориях меняется характер потечности гумуса: в зоне техногенной пустыни гумус затекает фронтально с отдельными более темными языками, тогда как в буферной (7 км) и фоновой зонах – языками и карманами.

Загрязненные почвы отличаются по цвету кутан в минеральных горизонтах. Эти различия особенно выражены в год с большим количеством осадков: во всех минеральных горизонтах на удалении 0,5, 2 и 4 км от завода присутствуют кутаны сизых и сизовато-серых оттенков, тогда как в 7 и 30 км – серовато-бурые кутаны и палево-бурые присыпки. В засушливый год минеральная часть профиля почв импактной зоны и техногенной пустыни окрашена в различные оттенки серо-бурого цвета, горизонты A1Bh и B1h имеют белесые оттенки и значительно светлее, чем в буферной и фоновой зонах. В год с избыточным увлажнением в минеральных горизонтах загрязненных почв наблюдаются скопления очень рыхлых (диаметром 4–7 мм) охристых стяжений. В засушливый год стяжения бурые, плотные (диаметром 2–3 мм).

В отличие от минеральной части профиля морфология органогенных горизонтов трансформирована значительно сильнее. В зоне техногенной пустыни органогенный горизонт максимально отличается от типичной подстилки серых лесных почв. Он представляет собой связное, плотное, очень влагоемкое торфоподобное моховое “покрытие” A0_T, состоящее из живых и отмерших тканей листостебельного мха *Pohlia nutans* мощностью 3–5 см (см. рисунок). Переход между A0_T и A1 очень резкий. На части территории техногенной пустыни A0_T отсутствует, а верхние горизонты вплоть до B механически удалены или смыты.

Органогенные горизонты импактной зоны представлены моховым “покрытием” A0_T (мощностью 3–5 см) и погребенным под ним горизонтом A0_L, состоящим из практически полностью сохранившего свою первоначальную структуру хвойного или хвойно-лиственного опада (мощностью 2–3 см). В микропонижениях встречаются “захоронения” неразложившегося древесного и травянистого опада мощностью до 10–15 см. На части территории A0_T отсутствует, и подстилка состоит из мощного (6–8 см, максимально до 10–11 см) горизонта A0_L.

В 4 км от завода представлено два варианта строения органогенных горизонтов. Наряду с отмеченными в импактной зоне горизонтами A0_T и A0_L, здесь встречаются задержанные подстилки мощностью 4–6 см, приближающиеся по строению к типичным. В 7 км от завода сформированы характерные для серых лесных почв подстилки (Фирсова и др., 1982, 1990) мощностью 5–6 см,

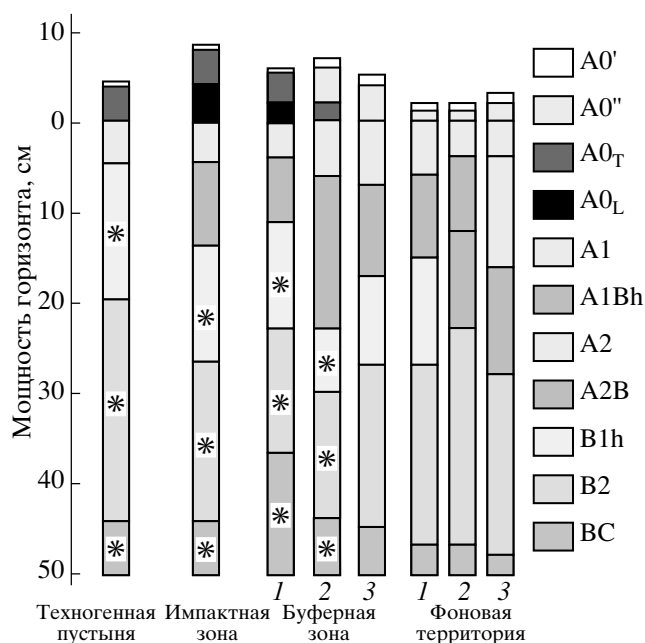


Схема морфологического строения почвенного профиля в разных зонах нагрузки:

1–3 – варианты профиля в пределах одной зоны; * – наличие признаков оглеения.

дифференцированные на листовую, ферментативный и гумусово-перегнойный горизонты.

Строение подстилок фоновой зоны также отличается от типичного: их мощность едва достигает 1 см, ферментативный горизонт не выражен и листовая непосредственно переходит в гумусово-перегнойный. Подстилки очень рыхлые (“паутинные”), практически не переплетены корнями. В окнах древостоя к середине–концу лета листовая горизонт может полностью исчезать.

При приближении к заводу степень насыщенности основаниями снижается в 1.5 раза по сравнению с фоном в органогенном и в 1.3 раза – в гумусово-аккумулятивном горизонтах (табл. 2). Это происходит как за счет уменьшения содержания обменного кальция (в 3.2 раза в органогенном и в 1.3 в гумусово-аккумулятивном горизонтах), так и возрастания гидrolитической кислотности (соответственно в 1.3 и 2 раза). Содержание магния почти не меняется в разных зонах нагрузки.

В зоне техногенной пустыни активность деструкции мочевины в органогенном горизонте снижена всего в 2.5–3 раза, тогда как в гумусово-аккумулятивном – в 15 раз (табл. 3). В противоположность этому скорость деструкции целлюлозы значительно меньше в органогенном горизонте, и на отдельных участках техногенной пустыни она практически равна нулю. В гумусово-аккумулятивном горизонте снижение достигает 6.5 раза. Можно отметить также следующую особенность: в погребенном горизонте A0_L загрязненных почв

Таблица 2. Основные параметры почвенного поглощающего комплекса и гидролитическая кислотность в разных зонах нагрузки (средние значения, в скобках – минимальные и максимальные)

Зона нагрузки и расстояние до завода, км	Горизонт	Содержание обменных оснований, мг-экв/100 г почвы		Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы	Степень насыщенности основаниями, %
		Ca	Mg		
Техногенная пустыня, 1	A0 _T	14.0 (12.0–18.0)	4.4 (4.0–6.0)	15.8 (11.9–18.0)	53
	A1	10.3 (7.0–13.6)	3.8 (2.6–4.8)	10.4 (8.4–11.4)	57
Импактная, 2	A0 _T	18.8 (12.0–24.0)	5.6 (4.0–10.0)	15.6 (13.0–20.3)	61
	A0 _L	18.6 (14.0–20.0)	6.7 (6.0–8.0)	13.6 (12.6–14.9)	64
	A1	12.7 (10.4–14.0)	3.3 (2.4–4.8)	8.5 (8.1–8.9)	64
Буферная, 4	A0 _T	31.0 (28.0–36.0)	6.7 (6.0–8.0)	14.7 (8.8–15.2)	76
	A0 _L	22.0 (17.6–30.0)	7.0 (4.0–14.0)	14.2 (13.3–15.8)	72
	A1	15.8 (11.4–18.2)	4.9 (3.6–8.0)	10.0 (7.5–12.3)	69
Буферная, 7	A0 ^{''}	40.0 (36.0–52.0)	13.2 (6.0–22.0)	11.3 (7.4–14.4)	82
	A1	9.0 (6.2–14.4)	4.2 (2.8–5.2)	6.3 (5.3–7.9)	68
Фоновая, 30	A0 ^{''}	45.2 (38.0–56.0)	8.8 (8.0–10.0)	11.3 (9.8–12.6)	82
	A1	13.2 (7.6–18.2)	3.8 (3.2–5.6)	5.4 (4.9–6.3)	75

Таблица 3. Показатели биологической активности почвы в разных зонах нагрузки (средние значения, в скобках – минимальные и максимальные)

Зона нагрузки и расстояние до завода, км	Горизонт	Скорость деструкции	
		мочевины, ед. рН/ч	целлюлозы, %/день
Техногенная пустыня, 1	A0 _T	0.350 (0.240–0.460)	0.000 (0.000–0.001)
	A1	0.010 (0.001–0.034)	0.101 (0.002–0.485)
Импактная, 2	A0 _T	0.750 (0.300–0.810)	0.241 (0.000–0.571)
	A0 _L	0.120 (0.067–0.180)	0.686 (0.201–1.377)
	A1	0.071 (0.057–0.095)	0.141 (0.001–0.235)
Буферная, 4	A0 _T	0.550 (0.350–0.710)	0.405 (0.001–0.910)
	A0 _L	0.156 (0.120–0.190)	0.209 (0.160–0.190)
	A1	0.062 (0.018–0.097)	0.067 (0.001–0.216)
Буферная, 7	A0 ^{''}	0.432 (0.170–0.810)	0.946 (0.015–2.350)
	A1	0.108 (0.053–0.150)	0.238 (0.067–0.710)
Фоновая, 30	A0 ^{''}	0.940 (0.530–1.200)	1.290 (0.020–1.912)
	A1	0.154 (0.089–0.300)	0.641 (0.026–1.041)

наблюдается пик целлюлазной активности – она в 2.8–4.8 раза выше по сравнению с соседними горизонтами A0_T и A1. Наиболее ярко это выражено в импактной зоне; в 4 км от завода повышенная скорость деструкции целлюлозы в A0_L отмечена только в двух случаях из пяти.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Морфология почвенного профиля, как концентрированное отражение генезиса почв, имеет первостепенное значение в их диагностике (Розанов, 1975). Однако при химическом загрязнении

редко отмечают изменения на этом уровне¹. Примером может служить работа Е.В. Ромашкевич и А.И. Обухова (1991), выполненная в этом же районе, в которой авторы не отметили каких-либо отклонений в морфологии почв. В то же время именно такие отклонения могут позволить систематизировать химически загрязненные почвы не только по степени загрязнения, но и на генетико-субстантивной основе.

¹ Исключение составляют случаи мощного эолового приноса кальцийсодержащей и угольной пыли (Русанова, 1995) или разливов нефтепродуктов (Солнцева и др., 1990; Геннадиев и др., 1992).

Основная трудность в обнаружении трансформации морфологических параметров почв связана с низкой разрешающей способностью полевого описания. Несмотря на это, по ряду важных признаков загрязненные почвы охарактеризованы нами как отличающиеся от нормального строения. Можно выделить три их группы, свидетельствующие о протекании определенных техногенно-спровоцированных процессов: торможение деструкции органического вещества, разрушение строения почвенных агрегатов и развитие оглеения. Их выраженность на уровне морфологии почвенного профиля подтверждается изменением физико-химических и биохимических показателей.

Новообразование на загрязненных территориях специфических торфоподобного и погребенного листового горизонтов A_{0T} и A_{0L} и соответствующее общее двух-трехкратное увеличение мощности подстилки (см. рисунок) – внешнее проявление почти полной блокировки деструкции активных фракций опада в лесной экосистеме. Прямые измерения параметров биологической активности почвы подтверждают подавление сапрофильного комплекса почвенной биоты, в частности целлюлозоразлагающих и аммонифицирующих микроорганизмов (см. табл. 3). Ранее на загрязненных территориях было зарегистрировано значительное снижение численности и последующая элиминация первичных деструкторов органики – сапрофагов мезофауны, в первую очередь дождевых червей (Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, 1995).

Наблюдаемое на фоновой территории уменьшение мощности подстилок и высокий уровень деструкционной активности в них, возможно, связаны с известным эффектом “удобряющего” действия низких концентраций тяжелых металлов для микроорганизмов (Babich, Stotzky, 1985; Кобзев, 1980). Кроме того, на фоновой территории отмечена очень высокая численность дождевых червей (Воробейчик и др., 1994), вероятно, связанная с оптимальным сочетанием гидротермических условий в определенные периоды.

Достаточно интересным представляется обнаруженный факт неравномерного вертикального уменьшения скорости деструкции целлюлозы в импактной зоне. Соизмеримая с фоновыми значениями скорость в погребенном горизонте A_{0L} при ее снижении в соседних свидетельствует о наличии определенных микроразнообразий с высокой активностью микроорганизмов. Ранее в импактной зоне отмечали резкое увеличение горизонтальной неоднородности распределения скоростей деструкции за счет дифференциации пространства на микробиотопы с низкой и высокой биологической активностью (Безель и др., 1994).

Вторая группа признаков, достаточно четко запечатленных в морфологии профиля химичес-

ки загрязненных почв, свидетельствует о деструктуризации гумусово-аккумулятивного и, в меньшей степени, нижележащих минеральных горизонтов. Особенно ярко разрушение почвенных агрегатов выражено в почвах техногенной пустыни, которые в период интенсивных дождей проявляют тиксотропность. Это можно рассматривать как один из примеров совмещения в одном профиле в результате технопедогенеза свойств систематически разных почв (Солнцева и др., 1990). Наиболее вероятная причина наблюдаемых морфологических отклонений – изменение состава почвенного поглощающего комплекса (ППК). Уменьшение биогенного накопления кальция и магния в результате угнетения травянистой растительности, подавление минерализации органического вещества и, соответственно, выхода кальция и магния из верхних горизонтов (см. табл. 2) приводят к их замещению на ионы водорода и алюминия. Об этом можно судить по увеличению актуальной (см. табл. 1) и гидролитической (см. табл. 2) кислотности и ухудшению оструктуренности почвы. Избыток сульфат-ионов и высокие концентрации подвижных форм меди (см. табл. 1) также могут влиять на состояние ППК и, следовательно, структуру агрегатов. Возможно, разрушение почвенной структуры в определенной степени связано с ингибированием активности почвенных микроорганизмов (Воробейчик и др., 1994), играющих значительную роль в образовании и поддержании стабильности мелких и крупных агрегатов путем выделения полисахаридов и образования гиф (Wood, 1991).

Наконец, третья группа морфологических признаков почв загрязненных территорий (изменение цвета кутан и характера потечности гумуса) свидетельствует о развитии процессов оглеения. Кроме данных признаков, о повышенном гидроморфизме территории в импактной зоне и техногенной пустыне можно судить также по изменениям в живом напочвенном покрове (смена неморально-кисличной ассоциации на злаково-хвощовую и мохово-хвощовую). Возможными причинами нарушения гидрологического режима загрязненных территорий могут быть уменьшение десукции из-за распада древостоя, образование в почвенном профиле водоупорных иллювиальных горизонтов, нарушение склоновых геохимических процессов из-за подпирания почвенно-грунтовых вод инженерными сооружениями. Без проведения дополнительных исследований не представляется возможным оценить относительный вклад этих причин. Однако наиболее вероятным мы считаем ведущую роль первой из них, о чем свидетельствует известный факт увеличения обводненности минеральных горизонтов после сплошных рубок леса (Huhta et al., 1967), что может приводить к развитию оглеения (Дедков и др., 1987).

В данном случае рубку правомерно рассматривать как аналог наблюдающегося на техногенных территориях угнетения и распада древостоя. Интересно, что загрязнение кальцийсодержащей пылью тундровых почв из-за замены более влагоемкой ацидофильной растительности на менее влагоемкую кальциефильную ведет к развитию противоположного процесса – стиранию морфологических признаков оглеения (Русанова, 1995).

В условиях повышенного гидроморфизма территорий развитие оглеения может быть связано и со специфическими химическими реакциями, в которых участвуют определенные ингредиенты выбросов. Так, образование анаэробных зон, вероятно, вызывается увеличенным потреблением кислорода из жидких осадков и почвенного раствора при окислении сернистого ангидрида до сульфат-иона (Николадзе, 1989). Уменьшение содержания кислорода в почвенном растворе также может быть связано с окислением соединений железа, поступающих с пылевыми частицами². Эти механизмы могут работать только при избыточном увлажнении всех почвенных горизонтов, в периоды засух они блокированы свободным доступом кислорода.

Рассматривая вопрос о характерном времени изменений почвенных параметров, следует подчеркнуть, что исследованная территория подвергалась сильной техногенной нагрузке в течение длительного периода (более 50 лет). Поэтому сейчас, вероятнее всего, можно наблюдать уже результаты процесса трансформации, а не сам процесс. Поскольку мы располагаем данными только одномоментного обследования на конец периода воздействия, делать заключение о скоростях изменений можно лишь умозрительно, базирываясь на принципе пространственно-временных аналогий.

Параметры, которые традиционно относят к почве-моменту (структура органогенных горизонтов, состояние ППК, биологическая активность), как и следовало ожидать, трансформированы на загрязненных территориях в наибольшей степени. Они начинают изменяться первыми (в буферной зоне), при тех же уровнях техногенной нагрузки, что и характеристики древесного и травяно-кустарничкового ярусов (Воробейчик и др., 1994).

Действие загрязнения вызывает трансформацию и более консервативных параметров, составляющих почву-память (агрегатный состав, дифференциация профиля по содержанию гумуса и ила). Однако их изменения можно зарегистрировать лишь при очень высоких уровнях загрязнения

(в импактной зоне и техногенной пустыне), когда другие компоненты экосистемы полностью деградировали. Следовательно, трансформация лабильных почвенных параметров идет почти параллельно с изменением биоты, тогда как консервативные характеристики почвенного покрова значительно запаздывают. В то же время в естественных условиях модификация параметров почвы-памяти требует значительно большего времени – порядка сотен и тысяч лет (Таргульян, Соколов, 1978). Их изменение за период функционирования источника выбросов свидетельствует как о силе техногенной нагрузки, так и о ее определенной специфике относительно природных факторов.

Важно подчеркнуть, что все описанные техногенные изменения почвенных характеристик имеют природные аналоги. Говорить, например, о “техногенном оглеении” или “техногенном торможении деструкции” можно лишь в том смысле, что эти феномены вызываются потоком поллютантов и последующей трансформацией биоты и косных компонентов, а при отсутствии загрязнения не имели бы места в данных биотопах. По субстантивной форме проявления между “техногенными” признаками и их “естественными” аналогами нет принципиальной разницы. В этом заключается одна из сложностей диагностирования техногенных модификаций почвенного покрова, поскольку сделать вывод о “неестественности” модификаций можно лишь тогда, когда определенные признаки присутствуют в нехарактерных комбинациях или зарегистрированы в несвойственных биотопах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реакция почв на загрязнение рассмотрена на трех уровнях организации – морфологическом, биохимическом и физико-химическом. Техногенные изменения биохимических и физико-химических параметров отражаются в морфологическом облике почвы, затрагивая не только почву-момент, но частично и почву-память. Основные признаки почв техногенно загрязненных территорий, достаточно четко регистрируемые при морфологическом описании, – увеличенная мощность подстилки, состоящей из специфических торфоподобного и погребенного листового горизонтов A_{0T} и A_{0L} ; деструктуризация гумусово-аккумулятивных горизонтов; оглеение минеральных горизонтов, определяемое по сизо-серой окраске профиля и фронтальной потечности гумуса. Эти признаки следует считать диагностическими для почвенных единиц, преобразованных сильным загрязнением тяжелыми металлами в комплексе с сернистым ангидридом из исходных серых лесных почв южной тайги. Поэтому к каждому из них можно добавить эпитет “техногенный”

² По результатам анализа загрязнения снегового покрова выпадение железа (сумма кислото- и водорастворимых форм) в импактной зоне увеличено в 10–20 раз по сравнению с фоновой территорией (Поленц, Бельский, 1991).

(“техногенные подстилки”, “техногенная деструктуризация”, “техногенное оглеение”).

Рассмотренные изменения почвенного покрова, несомненно, имеют отрицательные последствия для функционирования лесной экосистемы. Торможение деструкции органического вещества, разрушение почвенной структуры и образование анаэробных зон снижают почвенное плодородие. В сочетании с высокой токсичностью почвы это ведет к уменьшению общей продуктивности и устойчивости биоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристовская Т.В., Чугунова М.В.* Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
- Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейчик Е.Л.* Популяционная экотоксикология. М.: Наука, 1994. 83 с.
- Воробейчик Е.Л.* Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения // Экология. 1995. № 4. С. 278–284.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Воробейчик Е.Л., Хантемирова Е.В.* Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимость доза–эффект // Экология. 1994. № 3. С. 31–43.
- Геннадиев А.Н., Солнцева Н.П., Герасимова М.И.* О принципах группировки и номенклатуры техногенно-измененных почв // Почвоведение. 1992. № 2. С. 49–60.
- Дедков В.С., Павлова Т.С., Прокопович Е.В., Агафонов Л.И.* Рубки леса и свойства горно-лесных буроподзолистых почв Среднего Урала // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск, 1987. С. 20–36.
- Дончева А.В.* Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978. 96 с.
- Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
- Кобзев В.А.* Взаимодействие загрязняющих почву тяжелых металлов и почвенных микроорганизмов (обзор) // Труды Ин-та эксперим. метеорологии. 1980. Вып. 10(86). С. 51–66.
- Лебедева И.И., Тонконогов В.Д., Шишов Л.Л.* Классификационное положение и систематика антропогенно-преобразованных почв // Почвоведение. 1993. № 9. С. 98–106.
- Лукина Н.В., Никонов В.В.* Кислотность подзолистых Al-Fe-гумусовых почв сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 1995. № 7. С. 879–891.
- Николадзе Г.И.* Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1989. 496 с.
- Полец Э.А., Бельский Е.А.* О влиянии техногенного загрязнения на репродуктивные показатели птиц // Очерки по экологической диагностике. Свердловск, 1991. С. 68–74.
- Практикум по агрохимии. М.: МГУ, 1989. 304 с.
- Розанов Б.Г.* Генетическая морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. 294 с.
- Ромашкевич Е.В., Обухов А.И.* Влияние газопылевых выбросов промышленных предприятий на лесорастительные свойства почв // Дegradaция и восстановление лесных почв. М., 1991. С. 185–194.
- Русанова Г.В.* Техногенно-измененные почвы таежной и тундровой зон республики Коми // Почвоведение. 1995. № 6. С. 783–791.
- Соколов И.А.* Базовая субстантивно-генетическая классификация почв // Почвоведение. 1991. № 3. С. 107–121.
- Солнцева Н.П., Герасимова М.И., Рубилина Н.Е.* Морфогенетический анализ техногенно-преобразованных почв // Почвоведение. 1990. № 8. С. 124–129.
- Таргульян В.О., Соколов И.А.* Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. М., 1978. С. 17–33.
- Фирсова В.П., Павлова Т.С., Дедков В.С.* Биогеоэкологические связи и почвообразование в сопряженных ландшафтах Среднего Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 133 с.
- Фирсова В.П., Павлова Т.С., Ужегова И.А., Дедков В.С.* Серые лесные почвы Предуралья, их распространение и свойства // Серые лесные почвы Предуралья и их рациональное использование. Свердловск, 1982. С. 3–44.
- Флоринский М.А., Седова Е.В.* Влияние кислотных осадков на агрохимические свойства почв и растения // Агрохимия. 1992. № 2. С. 149–158.
- Чертов О.Г.* Влияние кислотных осадков на лесные почвы // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л., 1990. С. 56–61.
- Чертов О.Г., Лянгузова И.В., Друзина В.Д., Меньшикова Г.П.* Влияние на лесные почвы загрязнения серой в комплексе с тяжелыми металлами // Там же. С. 65–72.
- Babich H., Stotzky G.* Heavy metal toxicity to microbe-mediated ecologic processes: a review and potential application to regulatory policies // Environ. Res. 1985. V. 36. № 1. P. 111–137.
- Bache B.W.* The acidification of soils // Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. N.Y., L., 1980. P. 183–202.
- Greszta J., Braniewski S., Chrzanowska E. et al.* The influence of dust from chosen industrial plants on particular links of forest ecosystem of the Niepolomice forest // Ekol. pol. 1987. V. 35. № 2. P. 291–326.
- Huhta V., Karpinen E., Nurminen M., Valpas A.* Effect of silvicultural practices upon arthropod, annelid and nematod populations in coniferous forest soil // Ann. Zool. Fenn. 1967. V. 4. № 2. P. 87–145.
- Wood M.* Biological aspects of soil protection // Soil use and management. 1991. V. 7. № 3. P. 130–136.