

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Попутникова Татьяна Олеговна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ
И ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В ЗОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Специальности: 03.00.16 – экология
03.00.27 – почвоведение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук



Москва – 2010

Работа выполнена на каф. земельных ресурсов и оценки почв ф-та почвоведения МГУ

Научные руководители:

Доктор биологических наук, профессор
зав. каф. земельных ресурсов и оценки почв
ф-та почвоведения МГУ

Яковлев Александр Сергеевич

Доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
лаб. экологических функций почв
Института проблем экологии и эволюции РАН

Терехова Вера Александровна

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук
доктор сельскохозяйственных наук

Воронина Людмила Петровна
Курганов Алексей Александрович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский Государственный Университет

Защита состоится **27 апреля 2010 г.** в 11⁰⁰ в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ им. М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан 26 марта 2010 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по адресу. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения. Факс: (495) 939-29-47, (495) 939-21-47

Ученый секретарь
диссертационного совета

А.С. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В настоящее время в России особую актуальность приобрела проблема загрязнения окружающей среды (ОС) в окрестностях объектов размещения отходов (ОРО). Основной и наименее затратный путь утилизации твердых бытовых и промышленных отходов в нашей стране – их захоронение на специально отведенных полигонах. Однако для окружающей среды этот способ далеко не самый безвредный.

Полигон отходов можно назвать «неподвижным реактором», в котором в результате взаимодействия отходов и воды атмосферных осадков, образуется фильтрат, биогаз и остаточная масса отходов. Исследования последних десятилетий показали, что многие полигоны не отвечают природоохранным и санитарным требованиям. Это обуславливает острую необходимость организации мониторинга состояния окружающей среды в районах объектов размещения отходов. В первую очередь это касается почв, поскольку именно почвы выполняют важнейшие экологические функции по сохранению биологического разнообразия, обеспечению устойчивого функционирования биогеоценозов и биосферы в целом (Добровольский, Никитин, 2000).

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 санитарно-защитная зона полигонов и участков компостирования отходов ограничивается окружностью с радиусом 500 м и может корректироваться с учетом преобладающего направления распространения биогаза по воздуху. Однако распространение фильтрата по близлежащим водотокам может простирается на большие расстояния. В связи с этим актуальна проблема выделения зон реального воздействия и потенциальной экологической опасности полигонов ТБО для окружающей среды.

В работах, посвященных экологическим проблемам ОРО, изучаются процессы, происходящие в теле полигона и приводящие к образованию продуктов деградации отходов (Путилина и др., 2005; Грибанова, 2006), загрязнение грунтовых, поверхностных вод, почв на территориях, прилегающих к полигонам ТБО (Башаркевич, 1994; Бабак, 1997; Брылев, 2005; Кольчугина, 2006; Ерошина, Лысухо, 2007; Ludvigsen, 1998; O'Brien, 2005; Banar et al, 2007; Kale et al, 2009), поведение загрязнителей в ОС и почвообразование на полигонах (Скорик, Кириллова, 1999; Безуглова, 2006, 2007; Calace, 2001), а также проблемы законодательства в области оценки и регулирования воздействия ОРО на ОС (Сапожникова, 2005; Яковлев, 2007; Чуркин, 2008; Приймак, 2008, 2009). Инженерно-экологические обследования полигонов в Московской области проводились НПО «НОЭКС» (Грибанова, Киселев, 2006). Однако вопросы комплексной диагностики состояния почв по химическим и биологическим параметрам в зонах влияния ОРО изучены недостаточно.

На современном этапе развития прикладной экологии большую проблему представляет обоснование выбора информативных экологических показателей в целях организации мониторинга и экологического нормирования почв и других компонентов ОС.

Цель работы: дать экологическую оценку состояния почв и других компонентов окружающей среды вблизи объекта размещения отходов на примере одного из полигонов ТБО Московской области.

Задачи:

1. оценить экологическое состояние почв, поверхностных вод и донных отложений в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов по данным химического анализа;
2. выявить пространственную и временную динамику уровней загрязнения в изучаемых компонентах окружающей среды;
3. исследовать почвы сопредельной с полигоном ТБО территории методами биоиндикации и биотестирования;
4. осуществить экологическое нормирование качества изучаемых компонентов окружающей среды в зоне влияния полигона ТБО по химическим и биотическим показателям.

Научная новизна работы. Впервые для оценки экологического состояния объектов окружающей среды в зонах размещения полигонов ТБО использован комплексный подход, основанный на сочетании химико-аналитических исследований, биоиндикации и биотестирования. Определен набор структурных и функциональных параметров почвенной микробиоты и других информативных показателей для мониторинга состояния окружающей среды вокруг ОРО. Предложен обобщенный индекс трансформации биологических свойств почв.

Практическая значимость работы. Полученные данные могут способствовать коррекции санитарно-защитной зоны полигонов, усовершенствованию схемы интегральной биотической оценки качества окружающей среды в зоне деятельности ОРО и принятию управленческих решений о необходимости проведения рекультивационных и восстановительных мероприятий.

Личный вклад автора. Все этапы работы были проведены лично автором или при его непосредственном участии: отбор и анализ образцов природных сред, обработка полученных результатов. Автором рассчитан обобщенный индекс трансформации микробных почвенных сообществ под влиянием антропогенных воздействий.

Апробация работы. Результаты исследования представлены и обсуждены на конференциях «Проблемы лесной фитопатологии и микологии» (Пермь, 2009), «Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации» (Ростов-на-Дону, 2006), «Проблемы биодеструкции техногенных загрязнителей окружающей среды» (Саратов, 2005), «Ломоносов-2005», «Ломоносов-2009» (Москва, 2005, 2009), «Экология, природные ресурсы и развитие Московского региона» (Москва, 2009).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, и в материалах международных и всероссийских конференций.

Благодарности. Я глубоко признательна научным руководителям д.б.н., А.С. Яковлеву и д.б.н. В.А. Тереховой за неоценимую помощь в проведении работы, поддержку и советы. Особую благодарность выражаю д.б.н. Н.В. Верховцевой, д.б.н. Н.В. Можаровой, к.б.н. М.В. Горленко, к.б.н. С.А. Кулачковой за помощь в выполнении микробиологических и газогеохимических анализов, а также всему коллективу кафедры земельных ресурсов и оценки почв за внимание к данной работе.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов и списка литературы. Диссертация изложена на 138 страницах, содержит 10 таблиц и 20 рисунков. Список литературы включает 207 наименований, из них 41 зарубежные.

Защищаемые положения:

1. Особенностью экологической оценки и локального мониторинга состояния окружающей среды в условиях постоянного воздействия нерегулярно пополняемого источника загрязнений, которым служит объект размещения отходов, является чрезвычайно высокая вариабельность состава и концентраций химических загрязнителей в сопредельных с ОРО компонентах окружающей среды.
2. Регистрируемые изменения структурно-функциональных параметров микробиоты почв (предложенный «индекс трансформации биологических свойств почв») совместно с экспрессной оценкой токсичности компонентов окружающей среды на территориях, прилегающих к ОРО, могут служить основой для экологического нормирования состояния окружающей среды и коррекции границ санитарно-защитной зоны ОРО.

СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

1. Район, материалы и методы исследования

Район исследования. Работа проводилась в зоне расположения одного из типичных для Московской области полигонов ТБО в период 2006-2008 гг. Для химических и биологических анализов весной, летом и осенью были отобраны образцы почв, поверхностных вод, донных отложений и фильтрата полигона ТБО.

Территория переувлажнена из-за затрудненного бокового стока (связанного со строительством автодороги и разрастанием полигона ТБО). Гидрографическая ситуация на данной территории характеризуется наличием нескольких дренажных канав, заложенных в начале 1940-х гг. с целью осушения заболоченной территории; сливаясь, канавы дают начало ручью.

В окрестностях полигона (точки 2 и 3, рис. 1 и табл. 1) под низкобонитетным смешанным лесом вскрыты дерново-глеевые почвы, разрезами в точках 4 и 6 вскрыты дерново-неглубокоподзолистые профильно-глееватые легкосуглинистые почвы на покровных суглинках под березово-осиново-еловым лесом. В 700 м от полигона на территории, не испытывающей техногенного воздействия, заложен разрез фоновой

дерново-неглубокоподзолистой слабодерновой легкосуглинистой почвы на покровном суглинке под березово-дубово-еловым лесом.

Объект исследования – пространственная и временная динамика химических и биотических характеристик компонентов ОС в зоне расположения полигона ТБО.

Предмет исследования – особенности мониторинга экологического состояния ОС в условиях постоянного воздействия нерегулярно пополняемого источника загрязнений многокомпонентного состава.

Материалы исследования: образцы компонентов природных и техногенных сред с территорий, прилегающих к полигону ТБО: фильтрат полигона ТБО, природные поверхностные воды, донные отложения водотоков и почвы.

Полигон ТБО можно рассматривать как точечный источник загрязнения. Поэтому для анализа его воздействия на компоненты окружающей среды были заложены пробные площадки на разном удалении от полигона ТБО. Выбранное направление отбора проб (транссекта) совпадает с основным путем миграции загрязняющих веществ по водотокам. Материалом для биологического исследования служили поверхностно-смешанные (с глубины 0-20 см) почвенные пробы, отобранные на 10 площадках (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Характеристика исследуемых проб

№ пробы	Расстояние от полигона, м	Краткая характеристика площадок отбора проб
1	–	Склон полигона ТБО, проба насыпного грунта.
2	10	Зона разгрузки фильтрата в дренажные каналы; почвы периодически подтапливаются фильтратом.
3	30	Участок в районе подъездной дороги к полигону.
4	250	Площадки на разном удалении от полигона по водотоку (1 – 1,5 м от русла водотоков (дренажных канав))
5	500	
6	950	
7	1500	
8	2000	
9	3000	
10	700	«Фоновая» почва

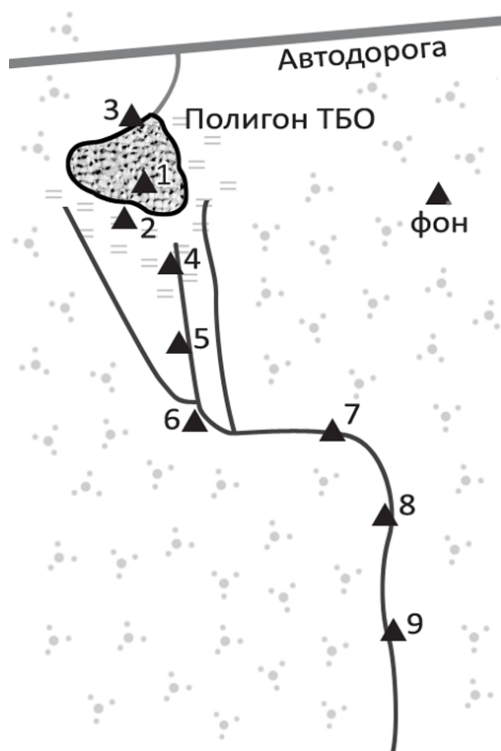


Рис. 1. Схема расположения полигона ТБО и площадок отбора проб

Методы исследования.

Химический анализ. Для оценки загрязнения почв, поверхностных вод и донных отложений компонентами фильтрата в этих средах был проведен количественный химический анализ. Исследована пространственная (на удалении 350, 1000 и 4000 м по водотоку от полигона) и временная (сезонная и годовая в период 2006-2008 гг.) динамика содержания загрязнителей в фильтрате, почвах и донных отложениях. Определены тяжелые металлы (атомная адсорбция в азотнокислой вытяжке); нефтепродукты (ИК-спектрометрии для почв, флюориметрия для жидких проб). Водорастворимые формы азота, серы, фосфора, хлоридов определены методом спектрофотометрии и ионной хроматографии.

Биологический анализ. Биодиагностика экологического качества почв и водных объектов в зоне расположения полигона ТБО проводилась методами биотестирования и биоиндикации.

Биоиндикация. Для оценки структурных и функциональных показателей развития микробных сообществ применялись как традиционные, так и новые методы исследования. Учет общей численности грибов проводились методом посева (Методы почвенной микробиологии..., 1991). Видовой состав и структура микробного сообщества почв определены методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС) (Bobbie, White, 1980; Верховцева, Осипов, 2008). Структура грибной биомассы (соотношение спор и мицелия) определялась методом люминесцентной микроскопии при окрашивании препаратов суспензии почв специфическим для грибов флюорохромом Fluorescent Brightener 28. Активность почвенного дыхания определялась по эмиссии углекислого газа на газовом хроматографе «Кристаллюкс 4000 М» (Методы почвенной микробиологии..., 1991). Сравнительное функциональное биоразнообразие природных микробных сообществ почв анализировалось методом мультисубстратного тестирования (МСТ) по стандартной методике (свидетельство МВИ № 13-06), основанной на анализе спектров потребления 47 органических субстратов с помощью автоматизированной системы «Эколог» (Горленко, Кожевин, 2005).

Для *биотестирования* почв и вод применялись стандартные методики, основанные на тест-реакциях организмов разной таксономической принадлежности: бактерий (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.8-04), простейших (ФР.1.39.2006.02506; ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06), ракообразных (ФР.1.39.2007.03222).

2. Результаты исследования и обсуждение

2.1. Химическая характеристика природных и техногенных сред в зоне влияния полигона ТБО

2.1.1. Характеристика фильтрата полигона ТБО

Одной из приоритетных задач при изучении влияния полигона ТБО на компоненты окружающей среды является химическая характеристика выделяющегося из тела полигона фильтрата. Фильтрат представляет собой насыщенный многокомпо-

нентный водный раствор продуктов биологический и химической деградации отходов, локализованный в обводной канаве вокруг полигона.

Химический состав неорганических и органических веществ в фильтрате исследовался во временной динамике. Обнаружено сильное варьирование содержания всех элементов в сезонной и годовой динамике. Приоритетными загрязнителями являются ртуть, хром, марганец; присутствуют свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк; хлориды, фосфаты, нитриты и ион аммония (0-520 ПДК для ртути, 1–24 ПДК для хрома, 1-14 ПДК для марганца, 0-6 ПДК для свинца, 0–2 ПДК для мышьяка и кадмия; 14-143 ПДК для иона аммония, 0-52 ПДК для нитритов, 0-6 ПДК для хлоридов, 0-4 ПДК для бромидов, 0-3 ПДК для фосфатов; 0-1900 ПДК для нефтепродуктов) (табл. 2).

Содержание загрязняющих веществ в составе фильтрата сильно варьировало во времени, что связано с разным годовым количеством осадков в изучаемом регионе (Гос. доклады о состоянии окружающей среды Московской области, 2004-2007 г.). «Залповые» концентрации некоторых элементов в определенные периоды времени (ртуть и др.), вероятно, могут быть связаны с выходом в фильтрат большого количества органических веществ. Вариабельность содержания элементов в фильтрате во временной динамике очень высока: коэффициент вариации меняется в пределах 30-160%.

Загрязнение фильтратом поверхностных вод отражено в таблице 3 (представлены элементы, концентрации которых превышают установленные ПДК для вод хозяйственно-бытового назначения).

Таблица 3

Химическое загрязнение поверхностных вод по градиенту удаления от полигона ТБО

Загрязняющие вещества, мг/л	Расстояние от полигона ТБО, м			ПДК вод хоз.-быт. назначения, мг/л
	300	950	4000	
Кадмий	0,0005	< 0,0002	< 0,0002	0,0001
Хром общ.	0,210	0,200	0,011	0,05
Никель	0,068	0,028	0,005	0,02
Марганец	0,450	0,320	0,380	0,1
Хлориды	1134	522	161	350
Ион аммония	32	30	6,8	0,5
pH	7,1	7,2	7,4	–

По мере удаления от ОРО концентрации загрязнителей уменьшаются, однако и на расстоянии 4000 м в водах превышены ПДК по хрому, марганцу, иону аммония.

Таблица 2

Химическая характеристика фильтрата полигона ТБО во временной динамике

Компонент фильтрата*	Время опробования							ПДК вод хоз-быт. (мг/л)	Коэффициент вариации, %
	2005 г.	2006 г. сентябрь	2007 г.		2008 г.				
			май	сентябрь	июнь	июль	октябрь		
pH	н/д **	7,2	8,1	8,2	7,9	7,2	7,3	–	5,59
Mn	1,19	0,6768	0,980	0,321	1,4	0,96	0,110	0,1	46,42
Cu	0,070	0,0161	0,340	0,115	0,08	0,05	0,08	1,0	64,01
Zn	0,022	0,6662	0,730	0,118	1,4	0,3	0,055	1,0	84,21
Pb	<0,003	0,0046	0,0040	0,019	0,065	0,023	0,005	0,01	87,42
Cd	<0,0002	0,0018	0,0008	0,00073	0,0008	0,0024	0,0004	0,001	60,67
Cr	0,160	0,0645	0,830	0,951	1,2	0,37	0,19	0,05	72,62
Hg	0,00012	0,2462	0,26	<0,00001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	0,0005	142,65
As	<0,005	0,0058	0,001	0,021	0,0071	0,0042	< 0,002	0,01	64,77
Cl ⁻	н/д	0,54	2057,4	1300	889,14	124,11	347	350	80,01
PO ₄ ²⁻	н/д	8,42	0,5	9,7	4,19	0,3	0,28	3,5	90,77
SO ₄ ²⁻	н/д	77,47	146	145	91,81	0,59	80	500	41,55
NO ₂ ⁻	н/д	174,3	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	1,8	3,3	164,61
NO ₃ ⁻	н/д	5,25	0,08	3,4	22,11	0,07	6,7	45	86,54
H ₂ S	н/д	н/д	н/д	н/д	0,12	0,12	<0,05	3,0	32,18
NH ₄ ⁺	н/д	н/д	н/д	н/д	287	28	30	0,5	99,71
XПК	н/д	н/д	3900	н/д	н/д	н/д	350	15	83,53
Нефтепродукты	н/д	0,65	580	0,08	0,14	0,03	0,18	0,3	166,29
C орг.	н/д	н/д	н/д	н/д	377,7	43,28	н/д	–	79,44

* - все значения в мг/л, кроме pH

** - нет данных

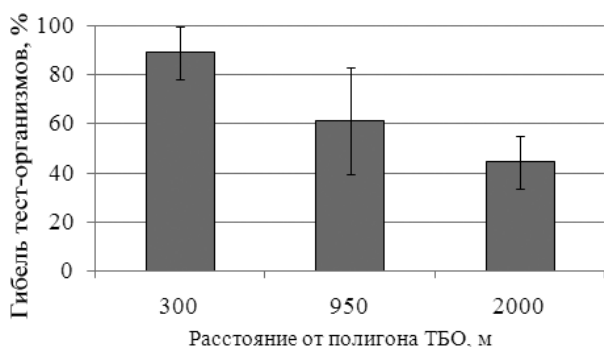


Рис. 2. Оценка токсичности образцов поверхностных вод по реакции на ракообразных (*Daphnia magna*)

Биотестирование проб поверхностных вод на расстоянии 300, 950 и 2000 м от полигона по стандартной методике с использованием ракообразных (*Daphnia magna*) показало их экотоксичность, которая имеет тенденцию к снижению по мере удаления от ОРО (рис. 2). Однако пробы воды, отобранные на наибольшем удалении (2000 м) классифицируются все же как токсичные (гибель анализируемой выборки особей превышает 10%).

2.1.2. Влияние полигона ТБО на донные отложения водотоков

Донные отложения (ДО) водотоков – важный компонент окружающей среды, который реагирует на загрязнение. ДО определяются как донные наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно водного объекта в результате внутриводоемных физико-химических и биохимических процессов, происходящих с веществами природного и техногенного происхождения. Химическая характеристика ДО водотоков в районе расположения исследуемого полигона ТБО: набор загрязнителей шире, чем в пробах вод в тех же точках отбора, содержание некоторых компонентов выше фонового в десятки/сотни раз. На рисунке 3 приведена временная динамика содержания исследуемых элементов ДО водотока в 300 м от полигона. На графике представлены превышения фоновых значений (за фон принят пруд, который не испытывает влияния полигона ТБО), и почвенных ПДК.

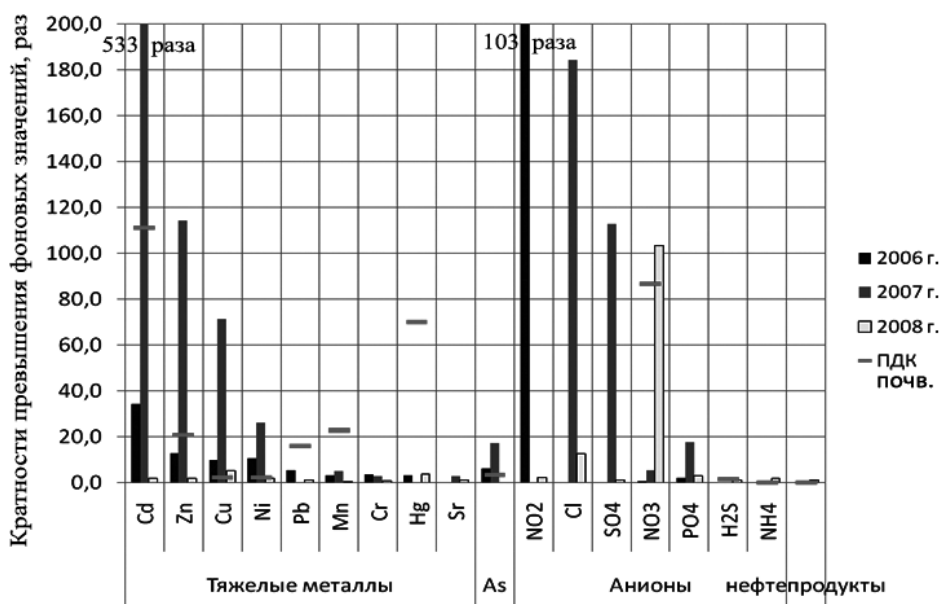


Рис.3. Временная (межгодовая) динамика содержания исследуемых элементов донных отложений водотока на расстоянии 300 м от полигона

Показано, что в некоторые периоды опробования донные отложения характеризуются высоким содержанием тяжелых металлов (кадмия, цинка, меди, никеля, мышьяка), а также нитратов, которые в 2007 г. оказываются в сотни раз выше установленных ПДК для почв. Значения суммарного показателя загрязнения Zс по Саету в донных отложениях соответствуют опасному уровню загрязнения (от 51 до 73).

2.1.3. Влияние полигона ТБО на почвы

Важнейшую роль в функционировании наземных экосистем играют почвы, которые рассматриваются как биокосное тело, обеспечивающее существование биогеоценозов и биосферы в целом, одна из основных функций которого – поддержание биоразнообразия и сохранение сред обитания для сообществ разных видов педобионтов и всех обитателей наземных экосистем (по Добровольскому, Никитину, 2000). В таблице 4 представлен содержание тяжелых металлов в верхних горизонтах почв на разном удалении от полигона.

Таблица 4

Химическая характеристика почв (слой 0-20 см) по градиенту удаления от полигона ТБО

Химические вещества (мг/кг)	Площадки отбора почвенных проб *				ПДК почв. мг/кг **
	4	5	6	10	
Ртуть	0,05	0,04	0,01	≤0,01	2,1
Мышьяк	3,3	3,2	2,6	5,0	5,0
Марганец	54	65	300	315	400
Медь	9,5	21	6,3	2,8	3,0
Кадмий	0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	1,0
Хром общ.	5,2	5,3	3	2,5	–
Никель	5,2	5,5	2,7	4,3	4
Цинк	8,6	20	14	8,5	23
Стронций	5,5	5	≤0,10	≤0,10	–
pH водн.	5,8	6,4	5,2	4,3	–

* см. табл. 1

** подвижные формы, ГН 2.1.7.2041-06

Выделяется содержание подвижных форм меди (до 7 ПДК в точке 5) и никеля (до полутора ПДК). В точке 4 (250 м от полигона) исследовалась временная динамика содержания загрязнителей по сравнению с фоном, которая носит флуктуационный характер (большая разница в содержании стронция и некоторых других элементов), что проиллюстрировано рисунком 4.

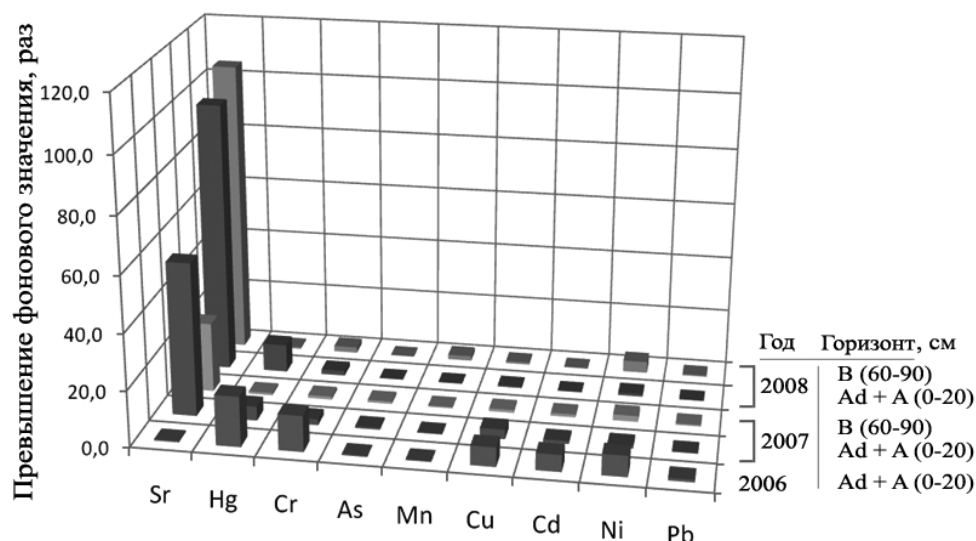


Рис. 4. Содержание тяжелых металлов в почве на удалении 250 м от полигона

Отмечено повышенное по сравнению с фоном содержание стронция, ртути и некоторых других элементов, входящих в состав фильтрата полигона ТБО.

2.2. Характеристика почв в зоне влияния полигона по биотическим показателям

Для микробиологических анализов пробы почв исследовали поверхностные смешанные образцы с 10 пробных площадок: почвы импактной зоны (испытывающей наибольшее влияние полигона ТБО) и насыпной грунт с полигона, почвы, отобранные по градиенту удаления от полигона до расстояния 3000 м по водотоку, фоновая почва. Результаты исследования особенностей микробиоты почв на разном удалении от полигона ТБО показали, что некоторые интегральные и структурные показатели хорошо маркируют изменения микробных сообществ по мере удаления от полигона ТБО.

2.2.1. Структурные и функциональные особенности микробиоты почв

Исследовались грибные и бактериальные сообщества по показателям биоразнообразия и функциональной активности.

Анализ структурного разнообразия проводился по данным общей численности и биомассы грибов и бактерий, функциональная активность микробиоты исследовалась методами оценки «почвенного дыхания» по эмиссии углекислого газа и мульти-субстратного тестирования почв.

Общая численность и общая биомасса грибов. Общая численность микромицетов, посчитанная методом посева на подкисленную питательную среду Чапека (число колониеобразующих единиц – КОЕ в г почвы), оказалась невысока (рис. 5, а). В фоновой почве она составляет 8×10^3 КОЕ/г. Насыпной грунт полигона характеризуется самыми низкими значениями численности. В почвах импактной зоны (т. 2) и почвах,

удаленных от полигона на 1500 и 2000 м, численность грибов более чем в 2 раза выше, по сравнению с фоновой.

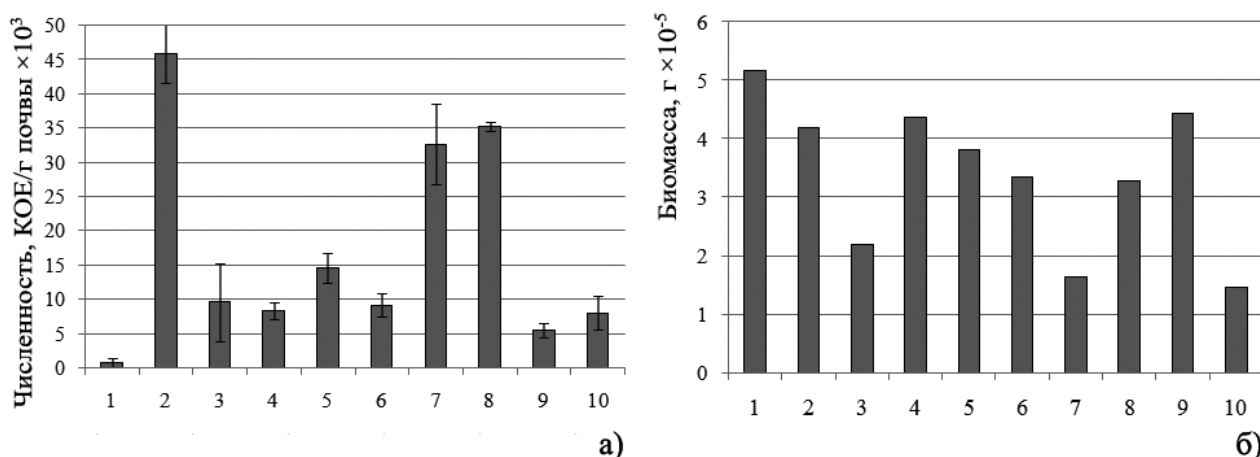


Рис. 5. Общая численность (а) и биомасса (б) микроскопических грибов в почвах по градиенту удаления от полигона ТБО

Общая биомасса грибов, определенная методом прямого люминесцентного микроскопирования, по мере удаления от полигона ТБО уменьшается и достигает фоновых значений в точке 7 (1500 м от полигона).

Повышение общей численности и биомассы грибов в тт. 7, 8, 9, вероятно обусловлены сложностью промышленной обстановки на изучаемой территории, влиянием дополнительных источников загрязнения (см. разд. 3).

Структурное разнообразие сообществ микромицетов. Анализ структурных изменений в сообществах грибов при микробиологических посевах почвенных образцов показал, что в большинстве проб доминировали медленнорастущие грибы р. *Penicillium*, в то же время в почве импактной зоны отмечено возрастание доли быстрорастущих грибов рр. *Trichoderma* и *Mucor*. Следует отметить, что быстрорастущие грибы, так называемые сахаролитики, к которым относятся виды мукоровых, являются индикаторами наличия в среде обитания легкодоступных питательных веществ. В данном случае возрастание их доли свидетельствуют, скорее всего, об обогащенности близко расположенных к полигону почв легкоусвояемыми органическими соединениями.

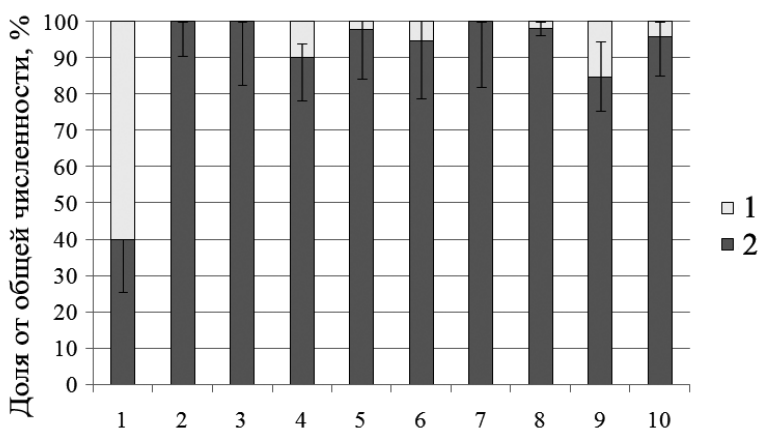


Рис. 6. Соотношение быстро- (1) и медленнорастущих (2) грибов в почвах в зоне влияния полигона ТБО

Одним из показателей экстремальных условий для микромицетов является повышение доли меланизированных (темноокрашенных) форм грибов (Жданова, Василевская, 1988; Терехова, 2007 и др.). На исследуемых участках на фоне невысокой общей численности микромицетов меланизированные виды встречались единично, что не дает основания говорить о высоком уровне техногенной нагрузки.

Морфо-биологическая структура грибной биомассы. В структуре грибной биомассы вблизи полигона наблюдается заметное преобладание доли споровой биомассы – более 90% в почве импактной зоны, т. 1 (грибная биомасса почвогрунта полигона более чем на 99% состоит из спор), тогда как на фоновом участке (т. 10) доля споровой биомассы наименьшая и составляет 89% (рис. 7).

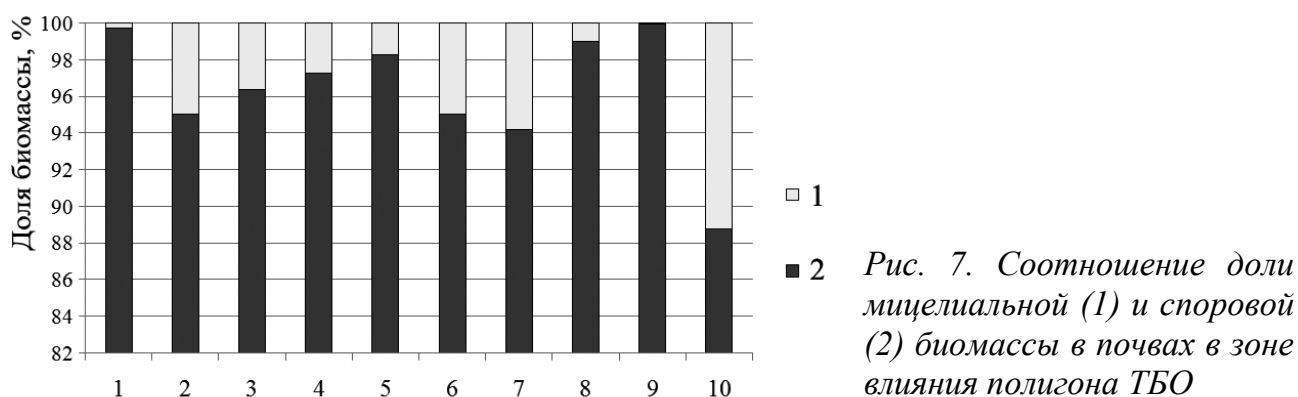


Рис. 7. Соотношение доли мицелиальной (1) и споровой (2) биомассы в почвах в зоне влияния полигона ТБО

Увеличение доли споровой биомассы может свидетельствовать об ухудшении условий для жизнедеятельности грибов и снижении их активности.

В целом, почвы всех пробных площадок характеризуются как очень бедные по шкале обогащенности почв микромицетами Д.Г. Звягинцева (Звягинцев, 1987).

Доля грибов, не проявивших активности на питательной среде

Распространенной характеристикой структуры микромицетных сообществ является коэффициент К, показывающий отношение численности почвенных грибов, выявленных методом прямого учета с помощью люминесцентной микроскопии (ЧГм) к численности КОЕ, посчитанной методом посева на агар Чапека (ЧГп). Этот показатель свидетельствует о доле грибов, не проявивших активности на питательной среде. Можно говорить о некоторой тенденции снижения коэффициента К по мере удаления от полигона на участке от площадки 4 до 8, что может свидетельствовать об увеличении доли

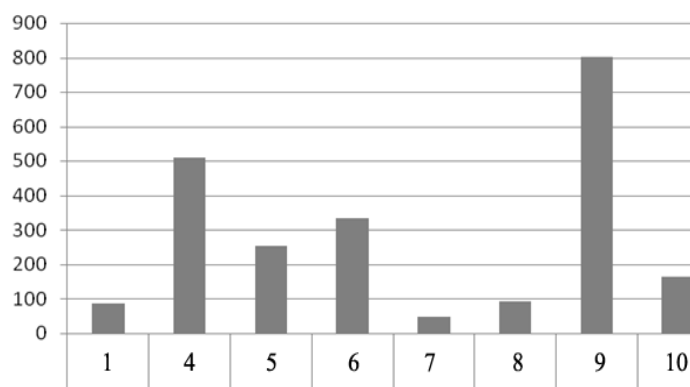


Рис. 8. Значение коэффициента К, отражающего долю активных микромицетов, в образцах почв в зоне влияния полигона ТБО

активных микромицетов. В целом же, динамика этого показателя имеет флуктуирующий характер (рис. 8).

Структура и биоразнообразие почвенной микробиоты по данным метода газовой хроматографии – масс-спектрометрии. Метод ГХ-МС позволяет получить комплекс данных о составе микробных сообществ образцов почв (Верховцева, Осипов, 2008). Анализ данных показал, что в целом почвы исследованных участков характеризуются достаточно высокой численностью бактерий (10^7 кл/г) и таксономическим разнообразием – 50-55 видов, численность которых превышает 10^3 кл/г (чувствительность измерения). Однако образцы существенно отличаются друг от друга в зависимости от места отбора, как по общей численности, так и по видовому разнообразию. Наибольшее биоразнообразие по индексу Шеннона (рис. 11) отмечается в почвах импактной зоны (1,80) и в фоновой почве (1,59), почвогрунт полигона обладает наименьшим (1,05) биоразнообразием (оценивалось разнообразие бактериальной биомассы).

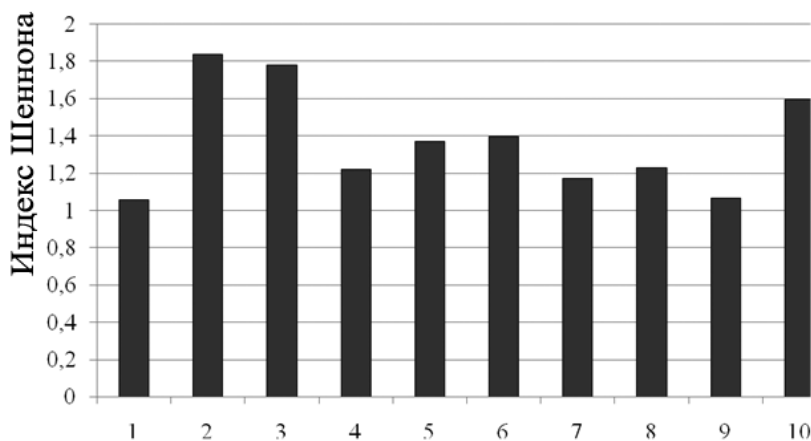


Рис. 9. Биоразнообразие бактериальных комплексов исследуемых почв по Шеннону

Сравнение видового разнообразия образцов фоновой почвы и отобранной на полигоне показало, что в последней пробе происходит снижение общей численности за счет уменьшения количества практически всех выявленных видов бактерий. Некоторые типично почвенные виды (*Agrobacterium radiobacter*, *Streptomyces-Nocardiosis*, *Arthrobacter* sp.) полностью исчезли, а такие виды, как факультативно анаэробные (*Bacillus subtilis*) и анаэробные *Bacteroides fragilis*, *Clostridium propionicum* и аэробный нитрификатор *Nitrobacter* sp. увеличивали свою численность в 2-3 раза. Таким образом, почва полигона характеризуется анаэробной направленностью микробиологических процессов со сниженной интенсивностью метаболической активности и накоплением токсичных органических кислот.

Представление о влиянии полигона на почвы импактной зоны можно получить, сравнивая видовое разнообразие фоновой почвы и почвы на территории, подверженной периодическому затоплению фильтратом. На затопляемых участках такие типичные почвенные виды, как *Agrobacterium radiobacter*, *Arthrobacter* sp., *Cytophaga* sp., *Streptomyces-Nocardiosis*, и др. практически во всех случаях присутствуют в больших количествах, чем на фоновой площадке. При этом виды, характерные для почвогрун-

та полигона (*Bacillus subtilis*, *Bacteroides fragilis*, *Clostridium propionicum*, *Nitrobacter* sp.) в затопляемой почве либо присутствуют в низких количествах (меньше чем на фоновой территории), либо отсутствуют вообще. Можно заключить, что почвогрунт с полигона и почва, периодически затопляемая фильтратом, населены принципиально различающимися сообществами; фильтрат приводит к стимуляции роста численности почвенной микробиоты.

По мере удаления от полигона до расстояния 1500 м наблюдается снижение численности практически всех представленных компонентов бактериального сообщества, на большем удалении происходило возрастание численности, достигающее фоновых значений.

Анализ почвенного «дыхания» по эмиссии углекислого газа. По данным анализа эмиссии CO₂ в исследуемых образцах, наименьшими значениями характеризуется насыпной грунт с полигона (0,42 мкМоль/г почвы × час). Отчасти это можно объяснить невысокой численностью микромицетов в данном образце (рис. 7).

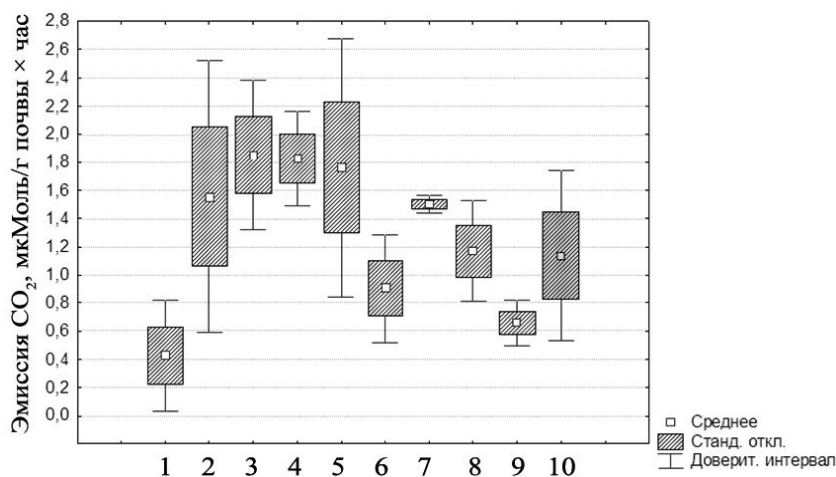


Рис. 10. Эмиссия углекислого газа в образцах исследуемых почв

Обнаружен эффект убывания значений эмиссии CO₂ по мере удаления от полигона (с 1,85 – 1,56 до 1,13 мкМоль/г почвы × час), при этом в почвах, подверженных возможному загрязнению другими антропогенными источниками, помимо полигона ТБО, значимых отличий от фона не выявлено (рис. 10).

Анализ потребления субстратов и стабильности микробных сообществ методом МСТ. В работе проведен сравнительный анализ природных микробных сообществ почв исследуемой территории методом МСТ. На рисунке 11 представлена зависимость числа потребляемых микробным сообществом субстратов от степени нагрузки на экосистему, которая выражается параметром крутизны d рангового распределения $F(n) = E_0 - be^{nd^n}$ при ранжировании интенсивностей потребления субстратов. Теоретически эта зависимость способствует наглядному выражению на графике нарастания нарушения системы (с увеличением параметра d , характеризующего нагрузку на систему и ее стабильность, и уменьшением числа потребленных субстратов N),

позволяет расположить и сгруппировать анализируемые образцы в исследуемых координатах.

В теории метода, чем больше количество использованных субстратов (N), тем стабильнее и благополучнее сообщество. Однако при антропогенном воздействии исследуемого в нашей работе источника негативного воздействия большое количество потребленных субстратов скорее говорит о высоком разнообразии, обусловленном именно загрязнением. Таким образом, при относительно низком разнообразии микробных сообществ исследуемых почв (фоновой почвы и почв по градиенту удаления от полигона), насыпной грунт полигона, а также почва в зоне влияния курсирующего у полигона транспорта выделяются высоким разнообразием микробных сообществ.

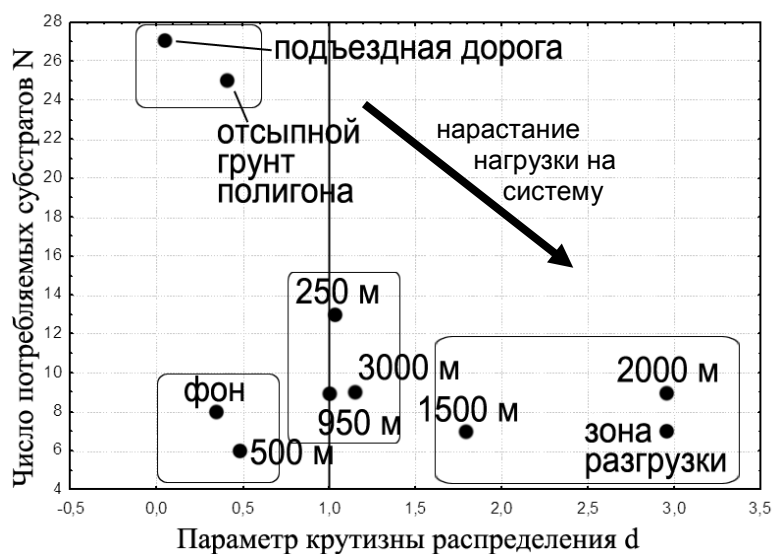


Рис. 11. Распределение микробных сообществ исследуемых почв в координатах «число потребляемых субстратов» - «стабильность сообществ»

Выбор параметра крутизны распределения d не случаен. Его значение, равное 1, теоретически соответствует предельному уровню нагрузки. Выше этого значения система перестает быть устойчивой, теряет стабильность и разнообразие. Образцы были сгруппированы по степени благоприятности на 4 группы: 30 м (подъездная дорога), насыпной грунт с полигона > фон, 500 м > 250 м, 3000 м, 950 м > 1500 м, 2000 м, 30 м (зона разгрузки фильтра).

2.2.2. Оценка экологической токсичности почв методами биотестирования

Лабораторные методы биологической оценки почв основаны на биотестировании образцов с использованием стандартных тест-культур. Токсичность образцов исследовалась в тест-системах, основанных на реакциях организмов разных таксономических групп: бактерии (генномодифицированный штамм *Escherichia coli*, биолюминесцентная система «Эколюм»), простейшие (*Paramecium caudatum*), низшие ракообразные (*Daphnia magna*). Данные биотестирования водных экстрактов почв представлены на таблице 6.

Оценка экологической токсичности водных экстрактов образцов по реакции тест-организмов разной таксономической принадлежности

№ пробы	<i>Daphnia magna</i> , гибель (%)	<i>Paramecium caudatum</i> , гибель (%)	<i>Escherichia coli</i> , интенсивность биолюминесценции (индекс токсичности)
1	0	0	53,72 ± 10,51
2	0	77,78 ± 15,60	- (49,57 ± 28,22)
3	0	0	- (28,89 ± 10,04)
4	0	0	2,06 ± 11,55
5	0	0	- (151,42 ± 24,55)
6	0	0	- (60,38 ± 3,72)
7	0	0	- (166,42 ± 7,88)
8	0	0	- (25,62 ± 16,73)
9	0	0	58,05 ± 4,14
10	0	0	- (60,72 ± 6,15)

Результаты показали, что воздействие водных экстрактов на разные тест-культуры не было однозначным. Так, не выявлено негативного эффекта в тест-системах с низшими ракообразными. По реакции простейших можно говорить о токсичности образца почвы в точке 2, затопляемой фильтратом. Наибольшую чувствительность обнаружили светящиеся бактерии. По результатам этого теста токсичность выявлена в нескольких образцах – образцах грунта с поверхности полигона и образце на расстоянии 3000 км от полигона. Последнее, вероятно, связано с тем, что в ручей впадает поток вод, проходящий через территории, которые испытывают помимо ОРО воздействие дополнительных источников загрязнения.

3. Нормирование экологического состояния почв в зоне влияния полигона ТБО по химическим и биотическим показателям

Оценка экологического состояния почв в зоне воздействия предприятия-загрязнителя требует комплексного подхода, основанного на учете данных не только химического, но и биологического анализа (Яковлев и др., 2009).

Биологические методы, примененные в данной работе, диагностируют влияние полигона на неодинаковых расстояниях. Отклонения значений разных микробных характеристик от показателей, свойственных фоновому (условно ненарушенному) образцу существенно различались (табл. 7).

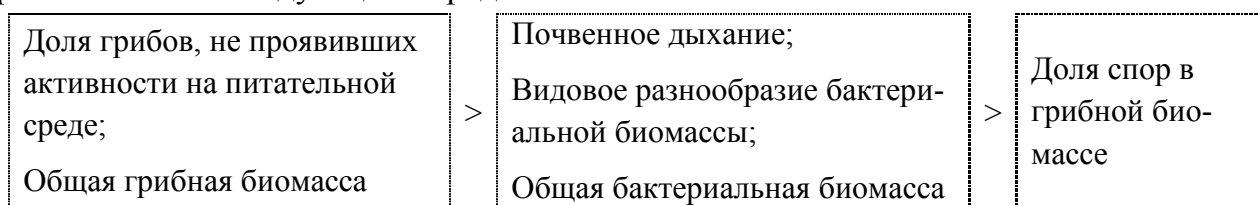
Таблица 7

Значения структурных и физиологических показателей микробиоты в образцах почв, отобранных на разном удалении от полигона ТБО и степень их отклонения от фоновых величин

Микробиологические показатели	Номер пробы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общая бактериальная биомасса (метод ГХ-МС)										
БМ, кл/г почвы $\times 10^6$	23,49	64,63	74,37	50,83	43,90	52,49	32,79	39,65	47,37	64,13
<i>Отклонение от фона, раз</i>	0,37	1,01	1,16	0,79	0,68	0,82	0,51	0,62	0,74	
Видовое разнообразие бактериальной биомассы по Шеннону (метод ГХ-МС)										
Индекс Шеннона, Н	1,06	1,84	1,78	1,22	1,37	1,40	1,17	1,23	1,07	1,59
<i>Отклонение от фона, раз</i>	0,66	1,15	1,12	0,77	0,86	0,88	0,74	0,77	0,67	
Общая грибная биомасса (метод ГХ-МС)										
ГБ, мкг/г почвы	5,61	39,02	41,05	37,54	42,61	33,94	14,11	11,94	9,92	13,28
<i>Отклонение от фона, раз</i>	0,42	2,93	3,09	2,83	3,21	2,55	1,06	0,89	0,75	
Доля спор в грибной биомассе (метод люминесцентной микроскопии)										
Доля спор, %	99,7	95,04	96,34	97,25	98,27	95,03	94,19	98,99	99,96	88,76
<i>Отклонение от фона, раз</i>	1,12	1,07	1,08	1,09	1,10	1,07	1,06	1,11	1,12	
Почвенное дыхание (метод газовой хроматографии)										
Эмиссия CO_2 , мкмоль/г почвы \times час	0,43	1,85	1,56	1,83	1,76	0,90	1,50	1,17	0,66	1,14
<i>Отклонение от фона, раз</i>	0,37	1,62	1,37	1,61	1,54	0,79	1,31	1,02	0,58	
Численность почвенных грибов (метод люминесцентной микроскопии)										
ЧГ _м , единицы пропагул, $\times 10^6$ /г почвы	5,15	3,96	2,12	4,25	3,73	3,18	1,55	3,25	4,41	1,30
<i>Отклонение от фона, раз</i>	3,96	3,05	1,63	3,27	2,87	2,45	1,19	2,50	3,39	
Численность почвенных грибов (метод посева на агар Чапека)										
ЧГ _п , КОЕ $\times 10^3$ /г почвы	0,83	45,83	9,67	8,33	14,67	9,50	32,67	35,33	5,50	8,00
<i>Отклонение от фона, раз</i>	0,10	5,73	1,21	1,04	1,83	1,19	4,08	4,42	0,69	
Доля грибов, не проявивших активности на питательной среде										
$K = \text{ЧГ}_M / \text{ЧГ}_П$, раз $\times 10^3$	6,20	0,08	0,22	0,51	0,25	0,33	0,05	0,09	0,80	0,16

Отклонение от фона, раз	38,75	0,50	1,37	3,19	1,56	2,06	0,31	0,56	5,00	
МСТ, параметры потребления субстратов сообществом										
N, число потребленных субстратов	25	7	27	13	6	9	7	9	9	8
d, нагрузка на систему	0,4	2,9	0,1	1	0,5	1	1,8	2,9	1,2	0,3
N/d	62,5	2,4	270,0	13,0	12,0	9,0	3,9	3,1	7,5	26,7
Отклонение от фона, раз	2,34	0,09	10,11	0,49	0,45	0,34	0,15	0,12	0,28	

Основываясь на результатах химических и биологических исследований, можно констатировать, что по мере удаления от полигона ТБО загрязнение почв фильтратом снижается. Анализ изменений биотических параметров и степень их отклонений от фоновых значений показывает, что по убыванию чувствительности к загрязнению почв фильтратом полигона ТБО рассмотренные биотические параметры могут быть расположены в следующем порядке:



Данные мультисубстратного тестирования почв показали статистически достоверные результаты, характеризующие различия микробных сообществ в исследуемых образцах. Однако в данном случае, как, по мнению акад. Г.А. Заварзина, и во многих других, выявленные различия между образцами «трудно интерпретировать концептуально» (Заварзин, 2004).

Для обобщения полученных данных сделан расчет индекса трансформации биологических свойств почв ($I_{ТБ}$), характеризующий степень разнонаправленных отклонений совокупности биотических показателей в исследуемых пробах от фоновых значений по формуле (1),

$$I_{ТБ} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| 1 - \frac{C}{C_{фон}} \right|}{n} \quad (1)$$

где C – абсолютное значение показателя, $C_{фон}$ – фоновая величина. Расчет $I_{ТБ}$ произведен по кратностям отклонения биологических показателей от фоновых величин (как в положительную, так и в отрицательную стороны) по формуле, отражающей суммарную степень отклонения биологического отклика от фона в диапазоне значений от 0 до 1. На рисунке 12 представлены итоговые значения $I_{ТБ}$ для почв, отобранных по градиенту удаления от полигона ТБО.

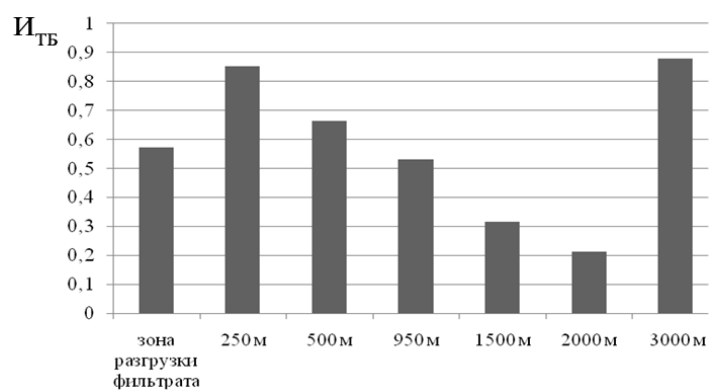


Рис. 12. Индекс трансформации биологических свойств (I_{TB}) исследованных почв на разном удалении от полигона ТБО

На довольно продолжительном расстоянии прослеживается тенденция приближения I_{TB} к фоновому значению по мере удаления от ОРО. Однако фоновые значения не достигаются даже на расстоянии 2000 м от полигона ($I_{TB} > 0$).

Исключение из плавной тенденции снижения I_{TB} наблюдалось на расстоянии 3000 м от полигона. Наиболее вероятным объяснением высокой степени трансформации почвенной биоты на этом участке может служить появление дополнительного источника загрязнений, поскольку именно на этом расстоянии в ручей впадает водоток, проходящий через территории, испытывающие воздействие не связанных с полигоном промышленных объектов.

Для определения значения экологической нормы изучаемых почв необходимо определить некоторое пороговое отличие суммарного биологического показателя от фона. В соответствии с российским опытом экологического нормирования, общий принцип определения допустимых значений качества почв для всего набора земель различного хозяйственного назначения заключается в определении способности почвы к самовосстановлению, которая сохраняется до утраты не более 30% биологического потенциала почв. На этом уровне наблюдается порог устойчивости почвенной экосистемы к антропогенному воздействию и предел удержания почвами токсикантов в границах загрязненного участка, соответственно не наблюдается массивированный их вынос в сопредельные среды (Яковлев, 2008). Поэтому 30%-ная потеря естественного (биологического) состояния почвы, рассчитанная по суммарному индексу трансформации биологических свойств может быть принята за пороговое значение экологического качества почвы.

По пятиуровневой шкале экологического нормирования («Методические рекомендации...», 2001, «Временная методика...», 1999) данные почвы относятся ко второму уровню загрязнения. Значения суммарного показателя загрязнения почв Z_c по Саету на удалении 300 и 500 м от полигона свидетельствуют об опасном уровне загрязнения ($Z_c=61,5$ и $61,1$ соответственно), на расстоянии 950 м уровень загрязнения допустимый ($Z_c=2,2$). Биологическими методами 30%-ное отличие от фона по индексу нарушенности I_{TB} отмечается лишь на расстоянии 1500 м от полигона.

Для каждого предприятия-загрязнителя установлена санитарно-защитная зона (СанПиН... 1999). Для полигонов ТБО СЗЗ представляет собой круг радиусом 500 м. Однако реальное воздействие предприятия на ОС не всегда совпадает с СЗЗ, зачастую выходя за ее пределы по направлениям миграции загрязнителей, что и показано в данной работе. Предлагается дополнить существующую санитарно-защитную зону экологической буферной зоной, определение границ которой основывается на данных химических и биологических анализов почв и других компонентов ОС и показывает достоверное отклонение от фоновых значений.

Таким образом, гигиеническое зонирование, основанное преимущественно на нормировании качества атмосферного воздуха, может быть дополнено экологическим зонированием, учитывающим экологические нормы состояния почв и других компонентов окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные химико-аналитические исследования показывают пространственную и временную неравномерность распределения загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды вблизи полигона ТБО. Результаты подтверждают миграцию загрязнителей преимущественно по водотокам. Показано, что экологическая оценка влияния предприятия-загрязнителя, в частности, полигона ТБО, осложнена мозаичным характером загрязнения и необходимостью учитывать дополнительное антропогенное воздействие других источников загрязнения.

Исследования показали, что ввиду чрезвычайно большой вариабельности распределения химических элементов на исследуемой территории при нормировании качества почв и экологической оценке других объектов окружающей среды, целесообразно большее внимание уделять биодиагностическим параметрам экосистем. Такой подход отражает современные тенденции совершенствования экосистемного (технологического) нормирования, базирующегося на концепции биотического контроля качества окружающей среды. Микробиологические методы, позволяющие фиксировать не наличие отдельных химических элементов, а интегральный отклик живых организмов на комплексное воздействие, при оценке влияния многокомпонентного источника загрязнений часто неизвестного состава, представляются надежными и оказываются более чувствительными в исследовании таких сложных техногенных объектов, как места размещения отходов. Биологические методы, примененные в данной работе, диагностируют эффект влияния полигона на неодинаковых расстояниях, что позволяет сравнивать их чувствительность к загрязнению почв фильтратом полигона ТБО.

Предложен индекс трансформации почв, обобщающий совокупность отклонений биотических показателей от фоновых значений. Данный индекс наполняется информативными структурными и физиологическими показателями состояния почвенной микробиоты, что делает его универсальным для подобных исследований.

Результаты экологического нормирования почв по химическим и биологическим показателям неодинаковы. Сравнение качества почв по предложенному биотическому индексу измененности, показателю Zc (по Саету) и принятой в природоохранной практике пятиуровневой шкале ранжирования экологического состояния почв («Методические рекомендации...», 2001, «Временная методика...», 1999) показало различия в определении границ зоны воздействия полигона ТБО. Суммарное загрязнение почв тяжелыми металлами по показателю Zc уже на расстоянии 950 м (по преимущественному направлению миграции загрязнения) от полигона ТБО оказывается допустимым, почвы относятся ко второму уровню загрязнения по пятиуровневой шкале, в то же время биологическими методами 30%-ное отличие от фона (соответствующее граничному значению нормы для суммарных показателей) по индексу трансформации биологических свойств почв отмечается лишь на расстоянии 1500 м от полигона, т.е. за пределами санитарно-защитной зоны полигона. Таким образом, результаты свидетельствуют о необходимости дополнительных исследований и расширения санитарно-защитной зоны полигона до расстояния 1500 м в направлении миграции веществ.

Выводы

1. Экологическая оценка влияния исследуемого полигона ТБО на окружающую среду (ОС) по результатам химических и биологических исследований показала, что исследуемые компоненты – почвы, поверхностные воды, донные отложения, загрязнены неравномерно.
2. По количественному содержанию загрязнителей к доминирующим химическим веществам (ХВ), превышающим установленные нормы, относятся: в фильтрате – Hg, Cr, Mn, Cl, NO₂, NH₄; в воде – Cd, Cr, Mn, Cl, NH₄; в донных отложениях – Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Hg, Sr, Pb, As, Cd; Cl, SO₄, PO₄, NO₃, NO₂, NH₄, Br; в почве – Cu, Ni.
2. Выявлены особенности временной и пространственной динамики загрязнителей в компонентах ОС: временная динамика ХВ в фильтрате характеризуется большой вариабельностью (коэффициент вариации 30-160%), флуктуации не имеют определенной закономерности в интервале 2006-2008 гг.; пространственная динамика химических показателей в компонентах водных экосистем характеризуется снижением содержания ХВ по мере удаления от полигона, в то время как в почвах распределение ХВ имеет мозаичный характер.
3. Установлена острая токсичность в твердых объектах импактной зоны (насыпной грунт, затопляемая фильтратом почва); токсичность воды в водотоках на расстоянии 300 – 2000 м от полигона ТБО снижается от 89 до 44%.
4. Воздействие полигона ТБО на структурно-функциональные особенности микробиоты отражается на изменении численности, биомассы и биоразнообразия, увеличению доли споровой биомассы, возрастании эмиссии углекислого газа.

5. Нормирование качества почвы по химическим показателям показало, что в точках отбора проб на расстоянии 250 и 500 м от полигона индекс Z_c (по Саету) соответствует опасному уровню загрязнения, а на большем удалении снижается - в точке 950 м $Z_c = 2,2$ (допустимый уровень). По пятиуровневой шкале экологического нормирования («Методические рекомендации...», 2001, «Временная методика...», 1999), данные почвы относятся ко второму уровню загрязнения.
6. Предложен индекс трансформации биологических свойств почв, обобщающий отклонения совокупности биотических показателей от фоновых значений, который снижается по мере удаленности от полигона. Отличие от фоновых значений развития биоты на 30% (предельная граница нормы, Яковлев и др., 2000), наблюдается в точке, удаленной от полигона на 1500 м, т.е. за пределами установленной санитарной зоны.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. * **Попутникова Т.О.** Оценка негативного воздействия полигона ТБО на почвы по биотическим показателям / **Попутникова Т.О.**, Терехова В.А., Яковлев А.С. // Экология и промышленность России. 2010. – № 3. – С. 51-53.
2. * **Попутникова Т.О.** Установление зоны влияния полигона ТБО на почвы по структурно-функциональным изменениям микробных сообществ / **Попутникова Т.О.**, Терехова В.А. // Вестник Московского Университета: серия 17, Почвоведение. 2010. – № 2. – С. 51-54.
3. **Попутникова Т.О.** Микоиндикация и биотестирование объектов окружающей среды вблизи полигона ТБО / **Попутникова Т.О.**, Терехова В.А. // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: сборник материалов VII межд. конф. – Пермь, 2009. – С. 153-157.
4. Komon M. Trichoderma diversity in spruce virgin ecosystems of south taiga / Komon M., Terekhova V., **Poputnikova T.**, Kubiček Ch., Druzhinina I // From Ecosystem Functioning to Biotechnology Application: Int. Symp. Vienna. – Austria, 2004. – P. 39.
5. **Попутникова Т.О.** Характеристика совместимости микроорганизмов – биодеструкторов нефти / **Попутникова Т.О.**, Ибатуллина И.З. // Ломоносов-2005: 12 Межд. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых; секция «Почвоведение»: тезисы докладов. – Москва, 2005. – С. 154.
6. **Попутникова Т.О.** Анализ совместимости и нефтедеградационной активности почвенных микромицетов и бактерий / **Попутникова Т.О.**, Терехова В.А., Ибатуллина И.З., Пацаева С.В., Хомякова Д.В. // Проблемы биодеструкции техногенных загрязнителей окружающей среды: материалы межд. конф. – Саратов, 2005. – С. 45-46.
7. Yatsunenکو T. Investigations of some soil agents for plant debris biodegradation in undisturbed and phosphogypsum polluted environments / Yatsunenکو T., Dolbneyva

- E., Rakhleeva A., Semenova T., Terekhova V., **Poputnikova T.** // 13th International biodeterioration and biodegradation Symposium. – Madrid, Spain, 2005. P. 269.
8. **Попутникова Т.О.** Взаимодействие грибов и бактерий в ходе очистки нефте-содержащих природных сред / **Попутникова Т.О.**, Терехова В.А., Ибатуллина И.З. // Грибы и водоросли в биоценозах – 2006: Материалы межд. конф. – Москва, 2006.
 9. **Попутникова Т.О.** Влияние органо-минерального сорбента на биоремедиацию нефтезагрязненных почв / **Попутникова Т.О.**, Ибатуллина И.З. // Почвы России. Проблемы и решения: материалы всеросс. науч. конф. IX Докучаевские молодежные чтения. – Санкт-Петербург, 2006. – С. 351-352.
 10. Терехова В.А. Биотестирование экологической токсичности почв в аккредитованной лаборатории / Терехова В.А., Рахлеева А.А., Бурдина В.М., **Попутникова Т.О.**, Ибатуллина И.З. // Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации: материалы межд. науч. конф. – Ростов н/Д: Росиздат, 2006 г. – С. 491-493.
 11. **Попутникова Т.О.** Участие микромицетов в очистке нефтезагрязненных почв / **Попутникова Т.О.**, Терехова В.А., Семенова Т.А., Рахлеева А.А., Пацаева С.В. // Тезисы всероссийской конференции с международным участием. – Улан-Уде, 2006. – Т.1. С. 165.
 12. Terekhova V. Biotic Control of Humic Substances Ecotoxicity and their Remediation Effect in Contaminated Environment / Terekhova V., **Poputnikova T.**, Fedoseeva E., Rakhleeva A., Vavilova V., Kaniskin M., Timofeev M., Ibatullina I., Yakovlev A. // From Molecular understanding to innovate applications of humic substances: Proceedings of the 14th Meeting if Int. Humic Substances Society. – PP. 687-690.
 13. Тимофеев М.А. Биотестирование элюатов из модельных почвогрунтов с избыточным содержанием фосфорно-калийных компонентов / Тимофеев М.А., **Попутникова Т.О.**, Еськов А.П., Терехова В.А. // Водные экосистемы, организмы, инновации: тезисы 10-й межд. конф. – Москва, 2008.
 14. Вавилова В.М. Сравнение чувствительности стандартных методов биотестирования при оценке экотоксичности шлама гальванического производства / Вавилова В.М., **Попутникова Т.О.** // Ломоносов-2009: 16 Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых; секция «Почвоведение». – М.: МАКС Пресс, 2009. – С. 51.

* Журналы входят в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденный ВАК.