

На правах рукописи



Пукальчик Мария Алексеевна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКИХ ПОЧВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ «ТРИАДНОГО» ПОДХОДА
(НА ПРИМЕРЕ г. КИРОВА)**

Специальность: 03.02.08– экология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва 2013

Работа выполнена на кафедре земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель:

доктор биологических наук

Терехова Вера Александровна

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет,
ведущий научный сотрудник

Булгаков Николай Гурьевич

доктор биологических наук, профессор,
Российский государственный аграрный
университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,
заведующий кафедрой экологии

Васенев Иван Иванович

Ведущая организация:

Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
"Южный федеральный университет"

Защита состоится «26» ноября 2013 года в 15 час. 30 мин. в аудитории М-2 на заседании Диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ имени М.В. Ломоносова по адресу 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, дом 1, стр.12, факультет почвоведения.

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

Автореферат разослан «25» октября 2013 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Алла Сергеевна Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Состояние городской среды – одна из наиболее острых проблем экологии. Прогрессирующее ухудшение условий жизни в городах обусловлено выбросами большого количества загрязняющих веществ, разными видами физических воздействий, нарушением целостности почвенного покрова в урбоэкосистемах, что влияет на способность городских почв выполнять экологические функции (Добровольский, Никитин, 1986; «Почва. Город. Экология.», 1997; Строганова и др., 2001; «Экологические функции городских почв», 2004 и др.). Источниками экологических проблем в крупных городах являются многообразные виды хозяйственной деятельности, среди которых неизбежно важное место занимает транспорт.

В последние два десятилетия в нашей стране уделяется большое внимание разработке подходов к оценке экологического состояния почв, основанной на диагностике изменений их биогенных и абиогенных компонентов (Виноградов, 1993; Опекунов, 2006; Терехова, 2010; Левич, 2013 и др.). Одной из проблем на этом пути остается поиск наилучших способов интегрирования данных экологического мониторинга (Воробейчик и др., 1994; Булгаков и др., 2002 и др.). Предложено немало вариаций расчета индексов состояния почв, значения которых сопоставляются затем с уровнями техногенной нагрузки и/или категориями качества окружающей природной среды (Саэт, 1990; Казеев и др., 2003; Яковлев, Макаров, 2006; Попутникова, Терехова, 2010 и др.). В мировой литературе как надежный прием характеристики экологического риска при загрязнении природных сред отмечается «Триадный» подход (TRIAD approach), основанный на методологии междисциплинарного уровня и учитывающий данные химических, биоиндикационных и токсикологических исследований (Chapman et al., 2002; Rutgers et al., 2005; Dagnino et al., 2008; Semenzin et al., 2008; Ribé et al., 2012). Опыта его применения для оценки почв, тем более при исследовании урбоэкосистем России, явно недостаточно.

Проблема экологической оценки загрязненных почв связана с поиском эффективных способов восстановления их качества. Особое внимание при этом уделяется ремедиации с применением гуминовых веществ - продуктов «зеленой химии». Повышенный интерес к гуминовым препаратам способствует совершенствованию традиционных технологий их производства, расширению сырьевой базы, а также внедрению инноваций в этой отрасли. В частности, новые продукты создаются на основе ускоренной гумификации лигнинсодержащего сырья (лигногумат) (Koivula, 2004; Иванова, 2009), а также путем увеличения количества реакционных центров за счет включения в гуминовую матрицу наноразмерных частиц металлов (наномагнетитогумат) (Ponder et al., 2000; Жоробекова, Кыдралиева, 2010; Perminova, 2012). Необходимость проверки ремедиационной активности и экобезопасности подобных гуминовых препаратов представляется актуальной.

Цель работы заключалась в экологической оценке урбаноземов г. Кирова на основе «Триадного» подхода и установлении целесообразности использования некоторых гуминовых препаратов для их ремедиации.

Задачи:

1. Оценить экологическое состояние городских почв, испытывающих воздействие транспортной нагрузки, с использованием химического, токсикологического и биоиндикационного методов анализа.
2. Изучить биологические эффекты двух новых гуминовых препаратов как агентов ремедиации почв.
3. Охарактеризовать качество загрязненных почв до и после применения исследуемых гуминовых препаратов на основе «Триадного» подхода (по данным химических, биоиндикационных и токсикологических анализов).

Научная новизна. На основе «Триадного» подхода к экологической оценке при обобщении данных химического, токсикологического и биоиндикационного мониторинга городских почв получены интегральные индексы экологического состояния, которые характеризуют участки урбаноземов, в разной степени подверженные влиянию автотранспорта.

При изучении структуры микробиотических сообществ почв, в том числе, с применением липидных маркеров (методом ГХ-МС) получены данные, демонстрирующие индикационную значимость меланизированных форм почвенных микромицетов как в условиях техногенного стресса, так и при оценке ремедиационных эффектов гуматов.

Выявлены особенности действия гуминовых препаратов (лигногумата и наномагнетитогумата) на живые организмы и экологическое качество образцов урбаноземов. Показано, что их положительный эффект не связан с иммобилизацией исследованных тяжелых металлов, а обусловлен другими свойствами.

Впервые исследована экологическая безопасность инновационного гуминового препарата, содержащего инженерные наноматериалы (частицы магнетита). В вегетационном эксперименте установлены безопасные концентрации и концентрации, вызывающие заметную трансформацию структурно-функциональных особенностей почвенной микробиоты и угнетение роста высших растений.

Практическая значимость. Полученные результаты и «Триадный» подход могут быть использованы для оценки и прогнозирования экологической обстановки городской среды на локальном и региональном уровнях, а также для решения прикладных задач: архитектурно-планировочных и рекреационных на территории города. В работе представлены рекомендации по управлению качеством городских почв в зависимости от их экологического состояния.

Результаты работы полезны для разработки систем контроля и оценки экобезопасности гуминовых препаратов при проведении ремедиационных работ. Отдельные положения и выводы могут быть включены в образовательные программы для студентов экологических специальностей ВУЗов.

Участие в проектах. Исследования проводились при поддержке РФФИ (грант №10-04-90758-моб_ст), Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» ГК № 02.740.11.0693.

Апробация. Результаты исследования представлены и обсуждены на конференциях «Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования» (Москва, 2010), Europe 21st Annual Meeting Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), (Milan, 2011), «Биологический мониторинг природно-техногенных систем» (Киров, 2011), Europe 22st Annual Meeting Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), (Berlin, 2012), «Natural and engineered nanoparticles in clean water and soil technologies» (НИТ) (Москва, 2012), «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред» (Москва, 2013), а также на заседаниях кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Все этапы работы были проведены лично автором или при его непосредственном участии: отбор и анализ образцов почв, постановка вегетационного эксперимента, обработка полученных результатов.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, обзор литературы, экспериментальную часть, выводы и заключение. Материалы диссертации изложены на **148** страницах машинописного текста, содержат **25** рисунков, **15** таблиц. Список литературы включает **259** источников, из них **92** зарубежные.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.б.н. Тереховой В.А. за ценные советы и рекомендации на всех этапах исследования, д.т.н. Т.Я. Ашихминой – за формирование интереса к экологическим проблемам города Кирова. Особую благодарность автор выражает сотрудникам ЛЭТАП и кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ, лично зав. каф., проф. Яковлеву А.С., д.х.н. Кыдралиевой К.А., а также д.б.н. Верховцевой Н.В., к.б.н. Якименко О.С., к.б.н. Семеновой Т.А., к.б.н. Рахлеевой А.А. за помощь в организации исследования, проведении анализов и обсуждение результатов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. «Современные подходы к экологической оценке и ремедиации почв при антропогенном загрязнении» посвящена проблемам оценки антропогенного загрязнения городских почв (Vink, 1983; Строганова, 2007; Добровольский, 2012). Проведен анализ роли химических, физических и биотических показателей в оценке качества почв (Криволицкий и др., 1976; Ильин, 1992; Воробейчик и др., 1994; Казеев и др., 2003; Терехова, 2007, 2011; Voluda et al., 2011). Рассмотрены различные методы интеграции данных экологического мониторинга (Воробейчик, 1994; Булгаков, 1992; Максимов и др., 2000; Левич, 2013). Сделан акцент на возможности и перспективах применения «Триадного» подхода (метода Триад) для оценки экологического состояния

почв (Long, 1985; Rutgers et al., 2005; Dagnino et al., 2008; Semenzin et al., 2008; Ribé et al., 2012).

Приводятся сведения об основных подходах к восстановлению (ремедиации) почвенного покрова урбоэкосистем и опыте применения гуминовых препаратов (Buchwalter et al., 1995; Haynes et al., 2001; Гапоненко, 2004; Степанов и др., 2012 и др.). Как пример инновационных разработок при создании современных ремедиационных препаратов описываются способы модификации гуминовых препаратов с включением, в частности, инженерных наночастиц, с целью получения ремедиантов повышенной эффективности (Ponder et al., 2000; Жоробекова и др., 2010; Юрищева и др., 2011). Отмечаются их достоинства при очистке водных сред и слабая изученность эффектов в загрязненных почвах.

Глава 2. Материалы и методы исследования

Согласно данным Росприроднадзора (региональный доклад «О состоянии окружающей среды...», 2010г.) г. Киров относится к разряду неблагоприятных территорий России. К источникам экологических проблем в городе, наряду с химической и металлургической промышленностью, относится транспорт.

Образцы городских почв. Исследования проводили на образцах урбаноземов, испытывающих аэротехногенную нагрузку от оживленной автотрассы в индустриальном районе Октябрьский г. Кирова. Пробы отбирали в мае 2010 и 2011 гг. с пробных площадок, площадью 10 м^2 , расположенных по предполагаемому градиенту уменьшения техногенной нагрузки. Всего исследовано пять площадок со сходной травянисто-кустарничковой растительностью, отобранные на расстоянии 5; 30; 50 и 150 и 200 м из верхних горизонтов (U_1/A_1) с глубины 0-20 см (пробные площадки №№ 1, 2, 3, 4 и 5, соответственно). Исследованные урбаноземы г. Кирова формировались на основе дерново-подзолистых почв. Условным «фоном» считали площадку в юго-западной части города на территории лесопарковой зоны, наименее подверженной воздействию техногенной нагрузки.

Гуминовые препараты (ГП), использованные в работе:

Гуминовый препарат 1 – «Лигногумат К» (НПО «РЭТ», Россия) получен в ходе искусственной гумификации лигносульфоната. Он содержит небольшое количество (масс. %) – N – 0,37; S ~ 4,0; C-35,0; K – 3,0; P -0,1. Для его состава характерно преобладание фульвокислот и веществ кислоторастворимых фракций над гуминовыми кислотами: 90 и 10%, соответственно.

Гуминовый препарат 2 – «Наномагнетитогумат» (Институт ОАО «Биохиммаш», Россия) получен в ходе механохимического синтеза. Содержание гуминовых кислот, связанных с наночастицами магнетита, не более 10 масс. % от общего количества. В элементном составе этого препарата – N - 2,8; C - 33,8; H - 2,6; Fe - 15,3; K – 14,0 (масс. %). Повышенное содержание азота связано с содержанием остаточного количества NH_4Cl , использованного в процессе синтеза магнетита. Высокое содержание калия в этом препарате обусловлено использованием в процессе его синтеза гуматов калия (содержание калия в исходном гуминовом препарате - 23%).

Содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Ni, Cr) в обоих гуминовых препаратах составляло следовые количества.

Ремедиационную активность гуминовых препаратов оценивали после внесения указанных препаратов в концентрациях 0,0025, 0,01 и 1 (масс. %) в образцы урбаноземов отобранных с пробной площадки №1.

Методы. Камеральную обработку образцов почв проводили с использованием химических, биоиндикационных и токсикологических методов.

Химические исследования включали определение валовых форм тяжелых металлов (ТМ) Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно стандартным методикам (ПНД Ф 16.1:2:2.2.63-09, процедура извлечения валовых форм элементов соответствовала ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02). Основные агрохимические показатели оценивали общепринятыми в почвоведении методами.

Биотестирование проводили в условиях краткосрочных экспериментов с использованием тест-систем и организмов разных трофических уровней по стандартному набору тест-параметров.

Продуценты: длина корней высших растений (*Sinapis alba*), 96 ч и изменение прироста численности клеток микроводоросли (*Scenedesmus quadricauda*), 72 ч.

Консументы: изменение выживаемости ракообразных (*Daphnia magna*), 96 ч; изменение выживаемости простейших (*Paramecium caudatum*), 24 ч.

Редуценты: изменение интенсивности биолюминесценции бактерий (*Escherichia coli*), 30 мин.

Биоиндикационные исследования урбаноземов охватывали две основные группы почвообитающих микроорганизмов:

- **микромикетный комплекс почв:** методом посева почвенной суспензии на среду Чапека (Методы..., 1982). Синэкологический анализ проводили по общей численности колониеобразующих единиц (КОЕ), числу видов, доле устойчивых к неблагоприятным факторам темнопигментированных видов грибов, индексам разнообразия (по Шеннону);

- **бактериальный комплекс почв:** методом газовой хроматографии – масс.-спектрометрии (ГХ-МС) по химическим компонентам жирно-кислотного состава клеточных стенок (Bobbie et al., 1980; Верховцева и др., 2008). Анализ проводили по числу видов бактерий, актиномицетов и актинобактерий, соотношению филогенетических типов прокариот в сообществе, показателям биоразнообразия (по Шеннону), доле анаэробных и факультативно анаэробных бактерий в сообществе.

Оценка ремедиационной активности гуминовых препаратов в вегетационном эксперименте. Исследования проводили на образцах урбаноземов, отобранных на двух участках территории города Кирова: на условно чистой фоновой и с пробной площадки №1 в промышленном районе, где по результатам комплексных исследований 2010/2011 гг. отмечалось повышенное содержание ряда тяжелых металлов, почвы проявляли экотоксичные свойства. Гуминовые препараты вносили в сухом виде в образцы почв в трех концентрациях 0,0025, 0,01 и 1 (масс. %). Смеси тщательно перемешивали и помещали в вегетационные сосуды (пластиковые емкости, рассчитанные на 500 г

воздушно-сухой почвы). Повторность каждого варианта - трехкратная. Длительность эксперимента 56 сут.

После внесения гуматов и заполнения сосудов почвой, в каждый сосуд высевали смеси газонных трав СГТ «Универсал» (Россия), в составе которой присутствовали следующие виды: овсяница луговая – 30%, овсяница красная – 35%, райграс многолетний – 15%, овсяно-райграсный гибрид – 20%. Полив соответствовал среднемесячной норме осадков за июнь/июль для г. Кирова.

По окончании эксперимента обработка образцов почв проводилась с использованием химических, биоиндикационных и токсикологических методов.

Химические показатели: валовые и подвижные формы Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} , основные агрохимические показатели с использованием общепринятых в почвоведении методов химико-аналитическом центре факультета почвоведения МГУ им М.В.Ломоносова.

Токсикологические показатели оценивали в стандартных тест-системах. В длительном «хроническом» эксперименте оценивали прирост биомассы газонных трав (СГТ «Универсал», 56 сут). В краткосрочных экспериментах исследовали водные вытяжки из образцов почв по реакциям организмов разной таксономической и трофической принадлежности (водоросли *Scenedesmus quadricauda*, ракообразные *Daphnia magna* и бактерии *Escherichia coli*) согласно процедурам, прописанным в стандартизованных методиках.

Биоиндикационными методами оценивали структурно-функциональные показатели почв после обработки гуминовыми препаратами:

- **интенсивность почвенного дыхания** по величине субстрат-индуцированного дыхания обогащенной глюкозой почвы и интенсивности базального дыхания, без добавления глюкозы; на основе полученных данных рассчитывали значения микробной биомассы и микробный метаболический коэффициент (Anderson et al., 1993);

- **структуру почвенных микромицетов:** методом посева почвенной суспензии на агаризованную среду Чапека, синэкологический анализ проводили по общей численности колониеобразующих единиц, доле устойчивых к неблагоприятным факторам темнопигментированных видов грибов;

- **активность фермента уреазы** определяли колориметрическим методом, основанным на измерении количества аммиака, образующегося при гидролизе мочевины, с реактивом Несслера;

- **активность фермента каталазы** определяли газометрическим методом, основанным на изменении скорости распада перекиси водорода по объему выделившегося кислорода.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ MS Excel 2003 и Statistica 6.0.

«Триадный» подход в оценке экологического состояния почв. Полученный экспериментальный материал (содержание загрязняющих веществ, показатели токсичности для биотестов и биоиндикационные показатели) был сгруппирован по пробным площадкам и подвергнут математической обработке. Расчет индексов

состояния ($ИС_x$, $ИС_T$ и $ИС_б$) проводили в несколько этапов путем сравнения полученных значений в пробе с данными ПДК или данными фоновых значений по каждому показателю и выбора вида функции перевода к нормированной шкале значений индексов состояния (от 0 до 1) (Semenzin et al., 2007; Dagnino et al., 2008).

Расчет индекса состояния почв по химическим показателям. Результаты, полученные для испытуемых образцов, сравнивали с ПДК. Для перехода к шкале, нормированной от 0 до 1, применяли функции вида (1):

$$ИС_x^i = \begin{cases} \frac{C_i}{ПДК} \cdot 0,50, & \text{если } C_i \leq ПДК \\ 0,50 + \left(\frac{C_i - ПДК}{100ПДК - ПДК_i} \right) \cdot 0,50, & \text{если } ПДК < C_i \leq 100ПДК \\ 1, & \text{если } 100ПДК < C_i \end{cases}, \quad (1)$$

где $ИС_x^i$ - преобразованное значение, индекс состояния почв по концентрации i -го химического показателя, C_i - концентрация i -го химического показателя в пробе; ПДК - предельно допустимая концентрация i -го химического показателя в фоне. В случае, если ПДК для i -го химического показателя не установлен (содержание элементов питания растений в почвах, $C_{орг}$) расчеты ведут относительно значений в фоновом образце.

Индекс состояния почв по химическим данным ($ИС_x$) рассчитывали по формуле:

$$ИС_x = \frac{\sum_{i=1}^n ИС_x^i}{n}, \quad (2)$$

где n – количество исследованных показателей.

Расчет индекса состояния почв по токсикологическим показателям. Значения тест-функций i -й тест-системы (биотеста) сравнивали со значениями, полученными для фонового образца:

$$П_i = \frac{|T_i - T_{фон_i}|}{T_{фон_i}}, \quad (3)$$

где $П_i$ – степень отклонения значения тест-функции i -го биотеста в пробе от фона; T_i – значение тест-функции i -го биотеста в пробе, $T_{фон_i}$ – значение в фоновом образце.

Для перехода к шкале, которая нормирована от 0 до 1 были применены функции вида (4):

$$ИС_T^i = \begin{cases} 0, & \text{если } П_i \leq 0,20 \\ \frac{П_i - 0,20}{0,80 - 0,20}, & \text{если } 0,20 < П_i \leq 0,80 \\ 1, & \text{если } П_i > 0,80 \end{cases}, \quad (4)$$

Аналогичным образом с использованием формулы (3) и функций (4) проводили оценку биоиндикационных показателей. Индекс состояния по токсикологическим и биоиндикационным параметрам рассчитывали путем нахождения среднего арифметического из ИСт_i и ИСб_i (формула 2).

При расчете интегрального индекса состояния по триаде показателей - химическим, токсикологическим и биоиндикационным (ИС_х, ИС_т и ИС_б, соответственно) воспользовались «весовыми коэффициентами», равными 1,5 и 2,0:

$$ИС = \frac{ИСх + 1,5 \times ИСт + 2,0 \times ИСб}{1,0 + 1,5 + 2,0}, \quad (5)$$

Предложение А. Дагнино и соавторов (2008) о присвоении «весовых коэффициентов» в данном случае оправдано, поскольку именно биотические (токсикологические и биоиндикационные) показатели являются наиболее информативными с точки зрения поддержания устойчивого состояния экосистем и выполнения почвами экологических функций, в частности, такой как среда обитания для живых организмов (Terekhova, 2011).

В соответствии с отечественным опытом нормирования, диапазон значений индекса состояния разделен на пять категорий (Воробейчик, 1994), которые характеризуют степень антропогенной нагрузки на почвы и экологическое состояние почв (Яковлев, Макаров, 2006).

Таблица 1. Соответствие интегрального индекса состояния (ИС), определенного на основе «Триадного» подхода, категориям качества почв, состояния и нагрузки

Значение ИС	Категория качества почв	Степень нагрузки	Состояние почв
ИС=0	I	допустимая	фоновое
0 < ИС < 0,30	II	низкая	слабо нарушенное
0,30 ≤ ИС < 0,50	III	средняя	нарушенное
0,50 ≤ ИС < 0,79	IV	высокая	сильно нарушенное
0,79 ≤ ИС ≤ 1	V	Очень высокая	необратимо нарушенное

При этом полярные значения (от 0 до 1) соответствуют градациям «хорошо» и «плохо», а промежуточные могут быть интерпретированы в данных терминах, по принципу: чем больше индекс - тем больше отличие от фона и тем большую нагрузку испытывают почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Глава 3. Экологическая оценка урбаноземов

3.1 Содержание тяжелых металлов в исследуемых образцах. Согласно проведенным исследованиям почвы имеют слабощелочную реакцию почвенного раствора (pH_{H_2O} для почв составляет от 7,51 до 8,06). Реакция контрольной почвы близка к нейтральной (7,40), в то время как для естественных серых дерново-подзолистых почв pH составляет 4-5,5. В исследуемых почвах влажность составляла от 43 до 48%, при фоновых значениях 57%, что значительно ниже оптимальной для развития микроорганизмов.

Содержание органического углерода ($C_{орг}$) увеличивалось от 3,50 до 4,69 %, по мере приближения к автотрассе, что было вызвано, по-видимому, внесением торфянистых почвогрунтов. В фоновых образцах $C_{орг}$ 3,42 %. Почвы характеризовались высокой обогащенностью подвижными формами фосфора (P_2O_5 от 268 до 345 мг/кг почвы) и обменного калия (K_2O от 167 до 250 мг/кг почвы).

Важным фактором, влияющим на экологическое состояние почв, является загрязнение тяжелыми металлами. Уровень содержания тяжелых металлов варьировал в зависимости от расстояния и вида экотоксиканта (табл. 2).

Таблица 2. Загрязнение тяжелыми металлами почв г. Кирова на разноудаленных от автотрассы площадках (2010-2011 гг)

№пробной площадки	Расстояние от автотрассы, м	Тяжелые металлы мг/кг (валовые формы)				Суммарный показатель загрязнения (Zc)
		Pb	Ni	Cr	Cd	
1	5	422±39	118±23	278±31	3,2±0,3	18,86±4,15
2	30	94±10	16±6	60±2	1,8±0,2	3,33±1,14
3	50	130±29	101±6	240±28	4,1±0,1	14,23±2,27
4	150	269±28	67±10	226±25	2,0±0,4	10,67±1,70
5	200	297±48	86±9	326±40	0,5±0,2	10,59±2,86
6	>2000	75±14	29±5	59±4	0,5±0,4	-

Среднее содержание Cd на пробных площадках №№ 1-4 превышает региональное фоновое значение (0,66-1,11 мг/кг)¹ более чем в два раза. В фоновых почвах и почвах пробной площадки №5 отмечено минимальное количество кадмия.

Среднее содержание Ni в исследуемых почвах составляет 69,5 мг/кг при его региональном фоновом значении 40 мг/кг. Превышение регионального фона отмечено в почвах четырех пробных площадок из шести.

Анализ определения свинца в почвах показал, что его содержание во всех исследованных точках превышает его региональное фоновое значение – 43 мг/кг. В образцах, отобранных в непосредственной близости от автотрассы, среднее содержание

¹ Региональные фоновые значения валовых форм тяжелых металлов для Кировской области приведены по Шиховой, 2005

свинца превышает региональное фоновое значение более чем в 9 раз.

Среднее содержание Cr в исследуемых почвах составляет 226 мг/кг при его содержании в фоновых образцах 59 мг/кг и региональном фоновом значении от 71 до 171 мг/кг. Превышение регионального фона отмечено в почвах четырех пробных площадок из шести.

Для оценки уровня химического загрязнения почв рассчитывали суммарный показатель загрязнения (Zс) по Сауту. Проведенный анализ суммарного загрязнения почв, отражающий эффект воздействия группы элементов, показал, практически все образцы характеризуются допустимой степенью загрязнения ($Z_c < 16$). Образец с площадки №1 расположенной наиболее близко к автомагистрали (на расстоянии 5 м) в 2010 г. характеризовался умеренно опасным уровнем загрязнения, а в 2011 г. суммарный уровень загрязнения тяжелыми металлами в этой точке несколько снизился.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в урбаноземах г. Кирова изменяется рН среды в сторону подщелачивания, происходит накопление тяжелых металлов Pb, Cd, Ni и Cr, которые выявлены в количестве, превышающем их фоновое значение в большей части пробных площадок. В исследованных почвах сложились неодинаковые условия как для развития микробиоты, так и для проявления токсических свойств.

3.2 Токсикологическая характеристика почв. При оценке токсичности городских почв, проводили сравнительное изучение влияния водных вытяжек из образцов на тест-функции стандартизированных тест-культур: дафний (*D. magna*), инфузорий (*P. caudatum*), горчицы (*S. alba*), одноклеточных водорослей (*S. quadricauda*) и бактерий (*E.coli*). Почвы, отобранные с пробной площадки №1, оказывали наибольшее влияние на все использованные тест-системы: наблюдалось подавление тест-функций более чем на 50% относительно контроля, что свидетельствует о токсичности образцов (табл.3).

Таблица 3. Влияние водных вытяжек из почвенных образцов на тест-функции биотестов (2010-2011гг)

№ пробной площадки	Расстояние от автотрассы, м	Значение тест-функции, % к фоновому образцу				
		<i>S.alba</i> , длина корней	<i>S.quadricauda</i> прирост численности	<i>D.magna</i> , кол-во выживших	<i>P.caudatum</i> кол-во выживших	<i>E. coli</i> биолюминесценция
1	5	33,32±14,37	41,98±7,59	30,21±9,65	46,21±3,3	51,56±9,75
2	30	77,98±17,67	77,99±12,78	47,98±9,90	20,02±3,1	79,78±3,81
3	50	60,45±17,47	54,33±7,57	33,85±11,09	26,61±2,43	67,88±11,48
4	150	87,85±19,64	53,16±9,45	33,35±10,00	29,80±2,95	71,14±7,87
5	200	86,48±11,60	42,83±6,53	30,05±9,80	15,77±3,60	67,15±4,03
6	>2000	100±14,10	100±4,39	100±2,24	100±3,3	100±7,13

*жирным шрифтом выделены варианты, характеризующиеся как токсичные

Образцы, отобранные с других площадок, вызывали подавление тест-функций как минимум в двух биотестах, что позволяет относить их к разряду небезопасных. Отклонения от контроля наблюдались в пределах 12-80%. Среди продуцентов прирост численности клеток микроводоросли сценедесмус (*S. quadricauda*) сокращался в среднем на 37%, а длина корней *S. alba* снижалась на 46%. Для консументов снижалась выживаемость ракообразных (*D. magna*) на 65% и простейших (*P. caudatum*) на 72%. Интенсивность люминесценции *E. coli*, снижалась в среднем на 33%. Почвы, отобранные с фоновой площадки не оказывали токсического воздействия на тест-системы.

Исследованные почвы обладали различными показателями токсичности для стандартизованных тест-систем. Увеличение суммарного уровня загрязнения Zс в почвах в большинстве случаев коррелировало с уменьшением значений исследуемых тест-параметров (выживаемость, прирост популяций и т.д.).

3.3 Биоиндикационная характеристика почв. Биоразнообразие микроорганизмов в исследованных урбаноземах представлено микромицетами, бактериями, актиномицетами и актинобактериями.

3.3.1 Общая численность и структурные особенности сообщества микромицетов. Анализ содержания грибов в почвенных образцах, отобранных в летний засушливый период, показал сравнительно невысокие показатели общей численности микромицетов практически во всех вариантах (от 22×10^6 до $25,7 \times 10^6$ КОЕ/г почвы). При изучении структуры сообществ микромицетов, способных расти на питательной среде, выявлен 21 вид микромицетов. Доминировали по частоте встречаемости стерильные формы грибов (частота встречаемости 100 %), широко представлены темноокрашенные виды микромицетов.

Полученные данные свидетельствуют об изменениях структурных характеристик микромицетного сообщества почв в условиях техногенного стресса, выражающихся в значительном увеличении доли меланизированных форм микромицетов в сообществах (рис. 1).

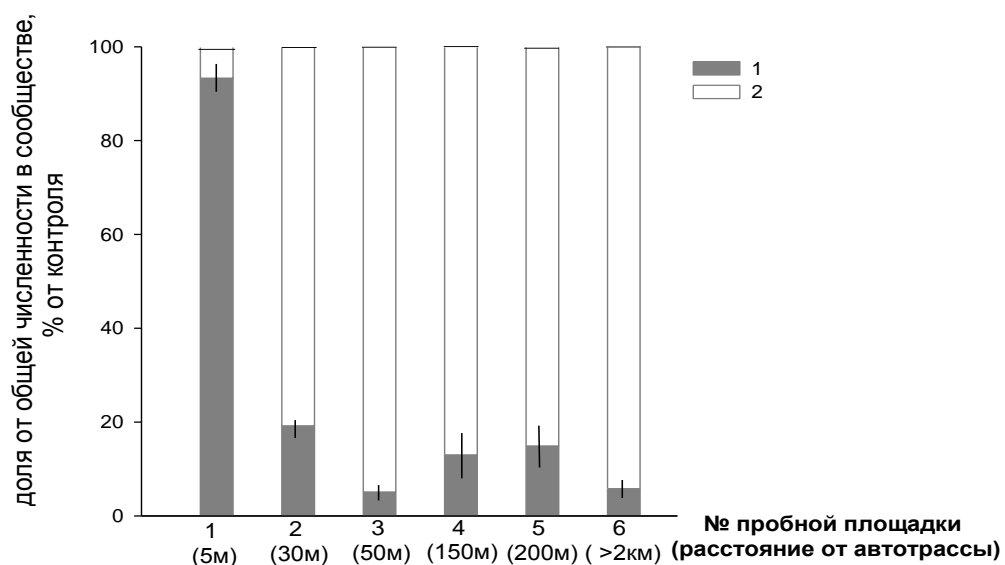


Рис.1– Соотношение меланизированных (1) и атипичных (2) форм микромицетов

Сравнение микромицетного комплекса исследуемых почв показало, что по мере приближения к источнику загрязнения наблюдается достоверное увеличение численности и снижение видового разнообразия микромицетов, а доминантами становятся резистентные виды, представленные преимущественно меланизированными формами.

3.3.2 Общая численность и структурные особенности бактериального сообщества. На основании исследования образцов почв методом ГХ-МС выявили, что филогенетическое разнообразие прокариот было представлено 5 основными типам (рис. 2).

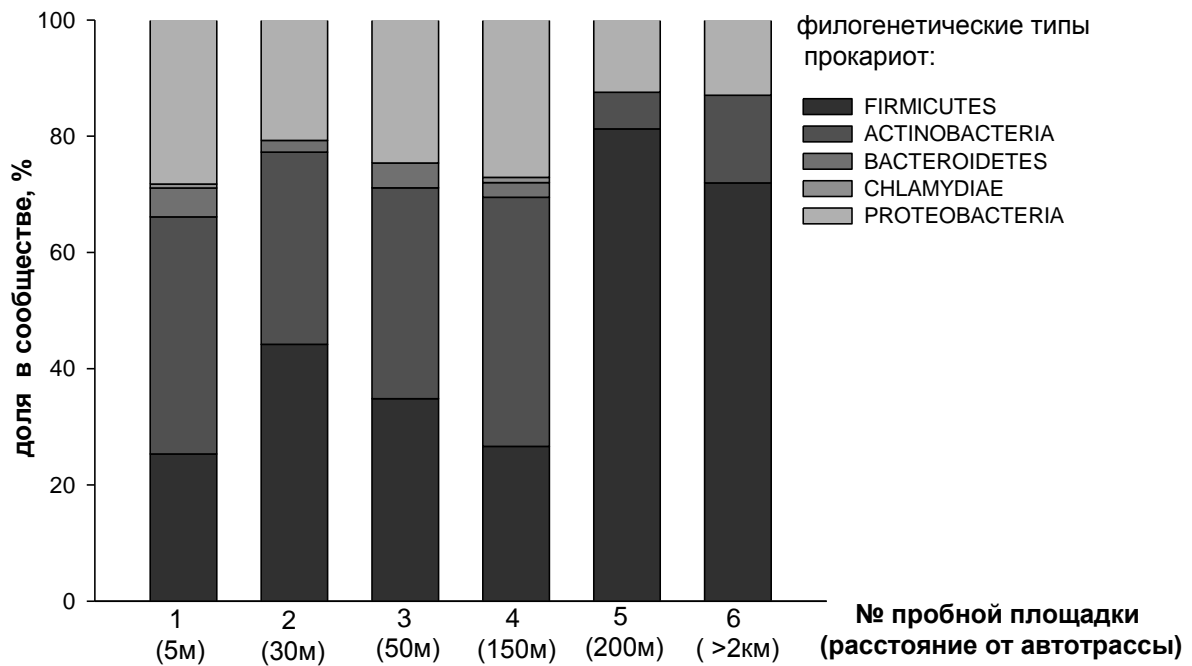


Рис. 2– Доля филогенетических типов прокариот в бактериальном комплексе почв

Выявлено, что техногенное воздействие проявляется в трансформации структуры бактериального сообщества, а именно: увеличивается доля бактерий типа *Proteobacteria* и *Bacteroidetes*, снижается численность представителей типа *Firmicutes* – главных агентов бактериальной деструкции. Видовое разнообразие бактерий в почве фоновой участка намного беднее загрязненных: 23 вида из 17 родов в сравнении с 50 видами из 35 родов для площадки № 2. В образцах, отличающихся наибольшим уровнем загрязнения, выявлена группа аллергенных бактерий *Micrococcus* sp.

Актиномицеты и актинобактерии исследованных почв были представлены 5 родами: *Rhodococcus*, *Pseudonocardia*, *Streptomyces*, *Nocardia*, *Actinomadura*. В фоновой почве суммарное содержание актинобактерий и актиномицетов в составе сообщества микроорганизмов было наиболее высоким по сравнению с загрязненными участками (13,3% в фоновой и 2,5-8% на загрязненных площадках). Снижение численности актиномицетов в загрязненных почвах обусловлено их высокой чувствительностью к тяжелым металлам, концентрация которых там довольно высока. Кроме того, известно, что актиномицеты лучше развиваются в почвах, имеющих нейтральную реакцию, богатых органическими веществами, с хорошими физико-химическими свойствами

(Звягинцев, Зенова 2001). В большей степени этим характеристикам соответствует фоновая почва.

3.4 Комплексная экологическая оценка состояния почв с использованием «Триадного» подхода. Проведенные химический, токсикологический и биоиндикационный анализы показали, что в исследованных урбаногемах наблюдается повышенное содержание ряда тяжелых металлов, трансформация микробного и бактериального комплексов почв. Почвы на большинстве пробных площадок характеризуются как токсичные.

В целях интеграции данных воспользовались методом Триад. Интегральные характеристики состояния почв по всем исследованным площадкам (индекс состояния почв - ИС), полученные на основе индексов состояния почв по химическим, токсикологическим и биоиндикационным данным (ИС_х, ИС_т и ИС_б соответственно) согласно формулам (1-4), приведены в таблице 4.

Таблица 4. Экологическая оценка урбаногемов с применением «Триадного» подхода

№ пробной площадки	Расстояние от автотрассы, м	Величина				Состояние почвы
		ИС _х	ИС _б	ИС _т	ИС	
1	5	0,47	0,51	0,47	0,48	нарушенное
2	30	0,33	0,21	0,33	0,29	слабо нарушенное
3	50	0,37	0,17	0,28	0,26	слабо нарушенное
4	150	0,38	0,19	0,32	0,29	слабо нарушенное
5	200	0,38	0,11	0,25	0,23	слабо нарушенное

Сопоставляя полученные значения ИС с категориями качества почв (табл. 1) можно заключить, что почвы лишь на одной пробной площадке (№1) характеризуются нарушенным состоянием. Остальные площадки на большем удалении от автотрассы характеризуются как слабо нарушенные.

Глава 4. Оценка гуминовых препаратов как ремедиантов городских почв

В результате экспериментальной оценки городских почв была установлена наиболее загрязненная площадка № 1 в 1,5 м от автотрассы. Урбаногемы, отобранные с этой площадки обрабатывали гуминовыми препаратами, эффект которых оценивали по результатам химических, токсикологических и биоиндикационных исследований. Контрольным почвенным образцом (далее – Контроль) служил образец урбаногема, не обработанный гуминовыми препаратами. В качестве природных референтных образцов использовались фоновые почвы с пробной площадки №6 (далее - Фон). Экспозиция экспериментальных сосудов с растениями - 56 сут.

4.1. Влияние гуминовых препаратов на содержание тяжелых металлов и биогенных элементов. Перед закладкой опыта по результатам химического анализа образцы урбаногема имели следующие характеристики: валовое содержание тяжелых металлов Cd – 4,61±1,02 мг/кг, Ni – 97,23±24,25 мг/кг, Pb – 249,11±38,70 мг/кг, Cr – 296,21±52,11 мг/кг. Содержание подвижных форм тяжелых металлов: Cd – 0,58±0,10 мг/кг, Ni – 1,02±0,22 мг/кг, Pb – 11,69±2,81 мг/кг, Cr – 5,32±0,58 мг/кг.

Гуминовые препараты не повлияли на валовое содержание тяжелых металлов, но несколько снизили концентрацию подвижных форм свинца на 32-43% относительно необработанного гуминовыми препаратами образца - контроля (при внесении препаратов 0,01 и 1 масс.%). Результаты исследований свидетельствуют, что гуминовые препараты в определенных концентрациях способствовали повышению содержания гумуса, азота и фосфора в образцах урбанозема (табл.5).

Внесение гуминовых препаратов в концентрациях 0,01 и 1 (масс.%) вызвало некоторое увеличение содержания гумуса. Внесение наномагнетитогумата повышало содержание общего азота более чем в 1,5 раза (по сравнению с контролем) во всех вариантах. Лигногумат (0,01 и 1,0 масс.%) способствовал обогащению почвы подвижными формами фосфора по сравнению с необработанным образцом урбанозема.

Таблица 5. Содержание элементов питания растений в почвах после обработки ГП

Доза внесения ГП, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ мг/100 г	C гумус, %	N _{общ.} мг/кг
Фон				
0	6,20	28,52±4,11	2,92±0,51	141,10±25,17
Урбанозем (контроль)				
0	7,50	19,23±3,86	3,89±0,82	98,53±39,71
Урбанозем, обработанный наномагнетитогуматом				
0,0025	7,50	19,09±3,82	3,90±0,28	↑221,80±64,36
0,01	7,80	19,51±3,90	3,95±0,45	↑222,60±52,18
1	8,10	19,81±3,96	↑6,77±0,43	↑225,30±71,11
Урбанозем, обработанный лигногуматом				
0,0025	7,60	37,97±7,59	4,11±0,58	74,39±34,82
0,01	7,60	↑41,02±8,20	4,72±0,44	70,02±34,01
1	7,80	↑44,18±8,84	↑6,74±0,02	69,67±33,93

↑ - значение достоверно увеличилось по сравнению с контролем (урбанозем без ГП)

4.2. Влияние гуминовых препаратов (ГП) на токсикологические показатели

В условиях вегетационного эксперимента с высшими тест-растениями оценивали прирост биомассы наземной части газонных трав (рис.3). Прирост биомассы в контрольном образце урбанозема (без ГП) характеризовался меньшими значениями, чем в фоновых образцах

Внесение 1,0 % лигногумата вызвало прирост биомассы (более 142% от фона). Выявлена тенденция замедления роста растений в урбаноземах, обработанных наномагнетитогуматом, с увеличением концентрации наномагнетитогумата в почве. В вариантах с внесением 0,01 и 1,0 % наномагнетитогумата значения сухой биомассы снизились более чем на 50% относительно контрольных и фоновых образцов. При этом наблюдались морфологические изменения листовых пластинок, некроз листьев. Прирост биомассы в контрольном образце (без ГП) характеризовался меньшими значениями, по сравнению с фоновыми почвами (прирост снижался на 28%). В варианте с внесением лигногумата отмечаются самые высокие показатели прироста биомассы надземной части растений относительно контроля и фонового образца.

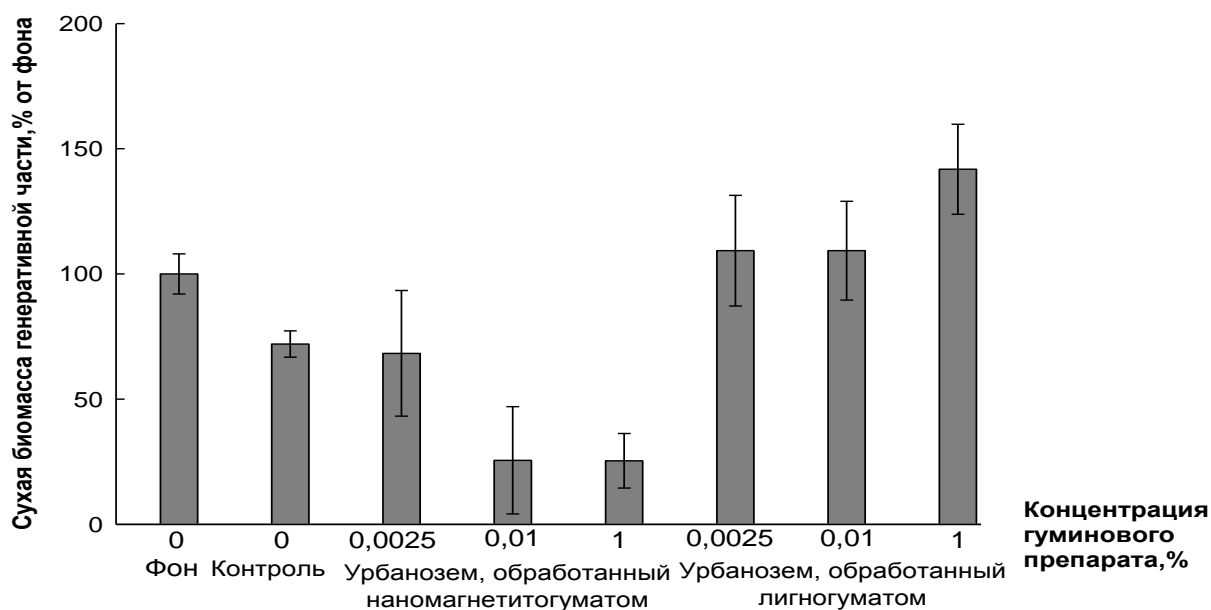


Рис. 3 – Влияние ГП на сухую биомассу газонных трав по результатам вегетационного эксперимента

В исследовании действия гуминовых препаратов на токсикологические характеристики почв помимо газонных трав были использованы стандартные лабораторные биотесты. Батарея биотестов включала представителей трех видов - *S. quadricauda*, *D. magna*, *E. coli*. Обработка гуминовыми препаратами оказала заметное влияние на проявление почвами экотоксичных свойств (рис.4).

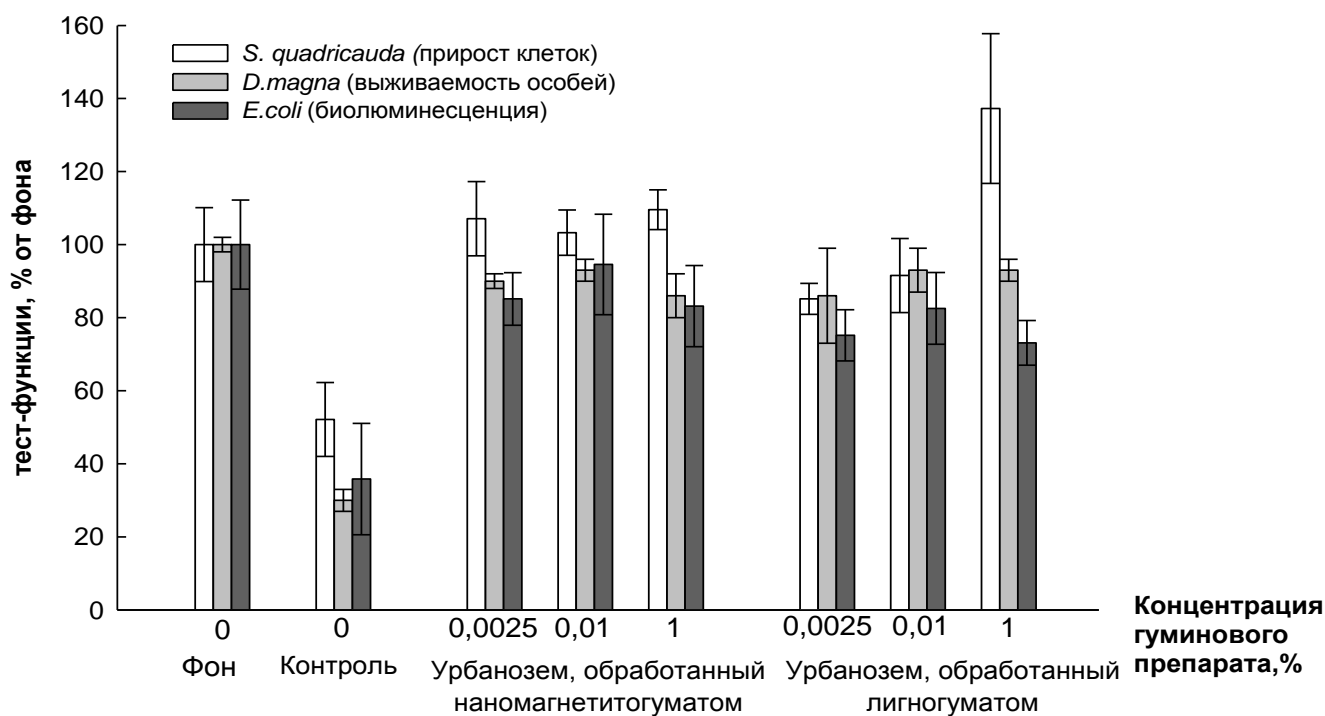


Рис. 4 – Значения тест-функций биотестов при исследовании водных вытяжек из образцов почв, обработанных гуминовыми препаратами

Контрольный образец (урбанозем, не обработанный ГП) был токсичным для всех трех тест-систем, ингибирование тест-функций биотестов достигало 48-70% по сравнению с фоновым образцом. При внесении обоих гуминовых препаратов токсический эффект почв снимался. Это характерно было для всех концентраций.

4.3. Влияние гуминовых препаратов на биоиндикационные показатели

Проведенные исследования показали, что внесение малых доз гуминовых препаратов (0,025 и 0,01%) оказало стимулирующее действие на развитие микробной биомассы, снижало показатели базального дыхания, и как следствие, наблюдалось уменьшение микробного метаболического коэффициента (табл. 6). В литературе отмечается, что высокие значения микробного метаболического коэффициента свидетельствуют о стрессе почвенного сообщества, сопровождающегося большой скоростью отмирания микроорганизмов и активной потерей углерода почвой. Снижение коэффициента может свидетельствовать об улучшении качества почв как среды обитания почвенных микроорганизмов.

Таблица 6. Влияние гуминовых препаратов на интенсивность почвенного дыхания и экофизиологические параметры образцов урбаноземов

Доза внесения ГП, %	Эмиссия CO ₂		Экофизиологические параметры (по Anderson et al., 1993)	
	субстрат-индуцированное, мкмольCO ₂ / г ч	базальное, мкмольCO ₂ -С/г сут	микробная биомасс.а, мкгС/г почвы	микробный метаболический коэффициент, мкгCO ₂ -С/мгСмик/ч
Фон				
0	0,054±0,005	0,058±0,005	45,89±1,73	5,24±0,63
Урбанозем (контроль)				
0	0,047±0,001	0,076±0,005	42,33±1,09	7,05±0,54
Урбанозем, обработанный наномагнетитогуматом				
0,0025	↑0,051±0,002	↓ 0,060±0,004	↑45,89±1,73	↓5,09±0,70
0,01	↑0,050±0,008	↓ 0,063±0,008	44,91±7,81	5,45±1,34
1	↑0,050±0,002	↓ 0,060±0,006	45,13±2,33	5,21±1,88
Урбанозем, обработанный лигногуматом				
0,0025	↑0,063±0,003	↓ 0,069±0,001	↑57,17±1,56	↓4,67±0,24
0,01	↑0,054±0,003	0,073±0,001	↑48,66±3,31	5,81±0,62
1	0,046±0,001	0,070±0,001	42,07±2,67	5,21±1,43

↓- значение достоверно снизилось по сравнению с контролем (образец, не обработанный ГП); ↑- значение достоверно увеличилось по сравнению с контролем (образец, не обработанный ГП)

Гуминовые препараты оказали заметное влияние на биохимические показатели почв: активности ферментов уреазы и каталазы (рис. 5). Наибольшее влияние на уреазную активность оказывало внесение наномагнетитогумата в концентрациях 0,0025

и 0,01 (масс%). В этих вариантах уреазная активность превышает контроль, что можно объяснить избыточным содержанием общего азота в почве.

Выявлена тенденция снижения активности каталазы в почве при внесении наномагнетитогумата по сравнению с фоновыми и контрольными образцами. Присутствие в препарате высокоактивных наночастиц магнетита в макролигандах гуминовых кислот могло способствовать образованию разнолигандных координационных узлов с участием гуминовых кислот и фермента каталазы (в активный центр которого входит трехвалентное железо). Образующиеся при этом фермент-ингибиторные комплексы могут характеризоваться более высокой устойчивостью и подавлять активности ферментов (Кыдралиева, 1992).

Внесение лигногумата не оказало значимого воздействия на активность уреазы, однако способствовало росту активности каталазы, причем наиболее заметно это при концентрации 0,01%.

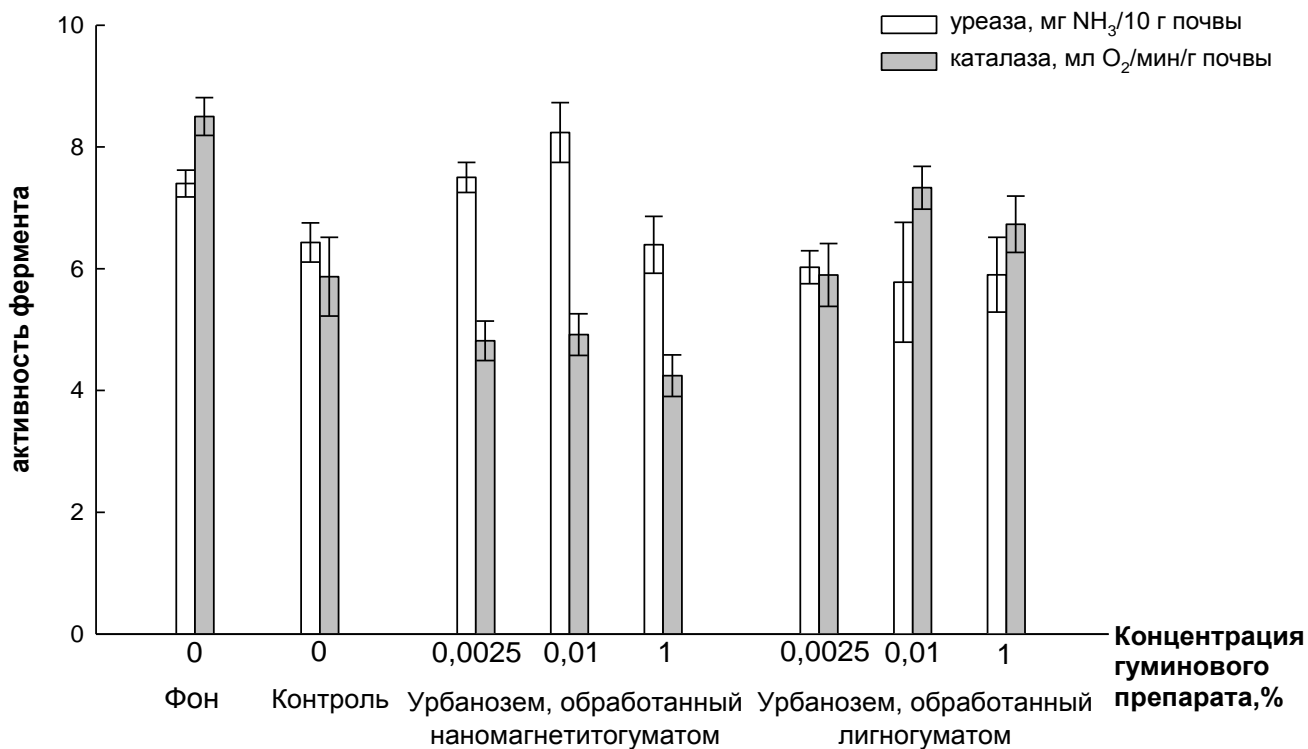


Рис. 5 – Влияние гуминовых препаратов на активность ферментов в образцах почв

Интересный, на наш взгляд, результат применения гуминовых препаратов заключался в перестройке сообщества почвенных микромицетов, а именно в снижении доли темноокрашенных микромицетов в сообществе в вариантах с внесением 0,01 и 1,0 % гуминовых препаратов (рис 6).

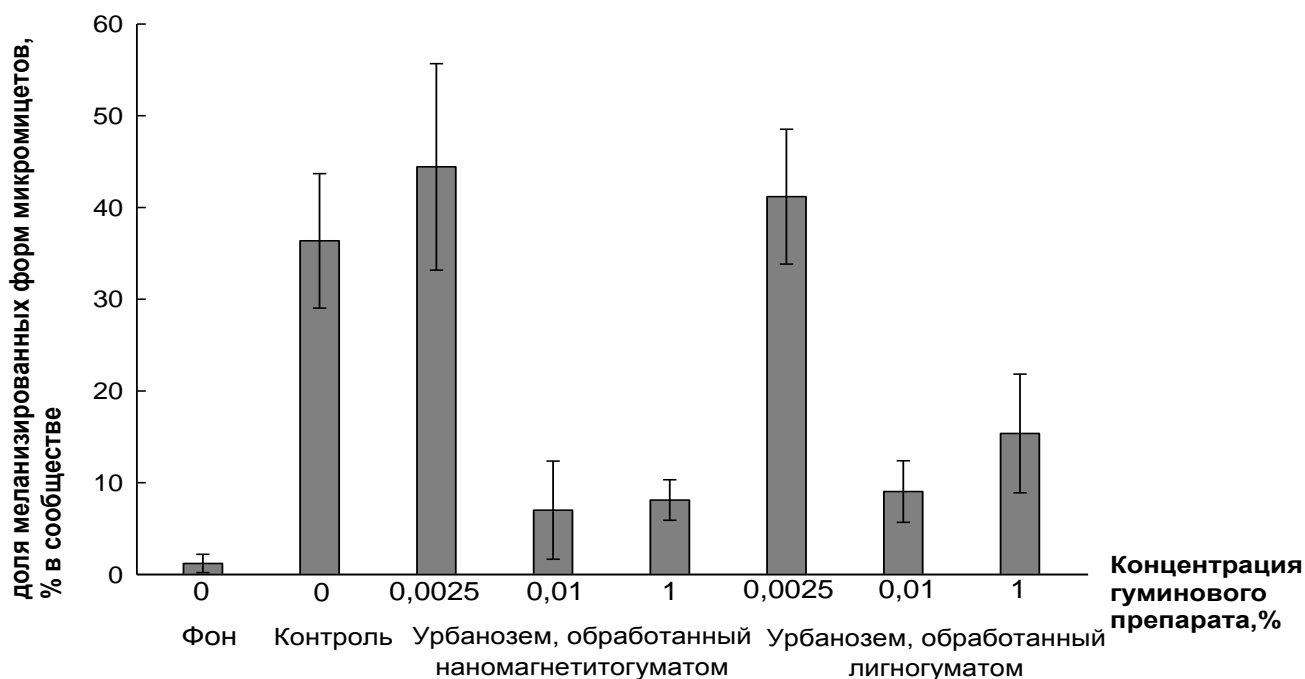


Рис. 6–Влияние гуминовых препаратов на долю темноокрашенных микромицетов

4.4. Комплексная экологическая оценка состояния почв с использованием «Триадного» подхода

Результаты вегетационного эксперимента свидетельствуют, что внесение гуминовых препаратов оказывает влияние на подвижность некоторых тяжелых металлов, содержание элементов питания растений, проявление фито- и экотоксичных свойств, структурные и физиологические показатели функционирования почвенного биоценоза. Наблюдаемые эффекты зависели как от концентрации, так и от природы гуминового препарата. В целях интеграции данных о влиянии гуминовых препаратов на урбаноземы, с помощью «Триадного» подхода рассчитали индексы состояния почвенных образцов после обработки гуминовыми препаратами по химическим, биоиндикационным и токсикологическим показателям ($ИС_x$, $ИС_б$, $ИС_т$), а также интегральный индекс состояния почв ($ИС$). Результаты расчетов приведены в табл.7.

Обобщая полученные данные по влиянию гуминовых препаратов на состояние почвенной микробиоты, рост растений и реакции биотестов, можно отметить, что положительное действие наиболее выражено при концентрациях ГП (масс. %) 0,0025 и 0,01. При внесении этих концентраций показатели $ИС_б$ и $ИС_т$ заметно снизились относительно контроля и приблизились к фоновым значениям.

Поскольку ГП не оказали значимого влияния на содержание подвижных форм ТМ (свинец, хром, кадмий, никель), то вероятно это может свидетельствовать о том, что основным фактором, определяющим ремедиационный эффект наномагнетитогумата и лигногумата является собственная биологическая активность, а не их способность связывать загрязняющие вещества.

Таблица 7. Результаты оценки экологического состояния почв после обработки гуминовыми препаратами с использованием «Триадного» подхода

Доза внесения ГП, %	Величина				Состояние почвы
	ИС _х	ИС _б	ИС _т	ИС	
Урбанозем (контроль)					
0	0,52	0,30	0,74	0,49	нарушенное
Урбанозем, обработанный наномагнетитогуматом					
0,0025	0,53	0,20	0,13	0,25	слабо нарушенное
0,01	0,53	0,28	0,07	0,26	слабо нарушенное
1	0,53	0,30	0,17	0,32	нарушенное
Урбанозем, обработанный лигногуматом					
0,0025	0,52	0,16	0,22	0,26	слабо нарушенное
0,01	0,52	0,14	0,14	0,22	слабо нарушенное
1	0,52	0,18	0,30	0,31	нарушенное

Таким образом, сопоставив полученные методом TRIAD результаты оценки химических, биологических и токсикологических свойств почвенных образцов (интегральные индексы) со шкалой оценки качества почв можно говорить о том, что экологическое состояние почв после обработки образцов невысокими концентрациями гуминовых препаратов изменилось: почвы из категории «нарушенных» перешли в категорию «слабо нарушенных».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие подходы к экологической оценке почв основаны большей частью на результатах аналитического контроля химических веществ в окружающей среде. В значительной степени это обусловлено сложностью анализа состояния биоты и формализации данных, получаемых разными методами. Вместе с тем, очевидно, что химические методы выявляют присутствие потенциально опасных веществ в почвах, но не характеризуют их биодоступность, которая угрожает целостности экосистемы (Левич, 1994; Воробейчик и др., 1994; Cairns, 2005; Терехова, 2011 и др.).

В отличие от почв, находящихся под воздействием точечных источников эмиссии поллютантов, в урбаноземах малых городов обычно не выявляются «катастрофические» уровни загрязнения. Очевидно, что негативные эффекты в городских почвах должны изучаться на уровне биотических компонентов экосистем.

В работе продемонстрирована возможность использования «Триадного» подхода, распространенного в мировой литературе для оценки экологического состояния почв. На примере ряда урбаноземов г. Кирова, отличающихся «невысоким» и «допустимым» уровнями загрязнения, были выявлены возможных негативных эффектов токсикантов на основных уровнях биологической организации - от организма до уровня популяции и сообщества. Рассчитанные на основании полученных экспериментальных данных (химии, биотестирования, биоиндикации) индексы экологического состояния почв позволили выделить расположенные вблизи автотрассы площадки как испытывающие существенную нагрузку.

Результаты работы и применение метода Триад могут быть полезны при принятии практических решений о способах обращения с городскими почвами, оценке результатов почвовосстановительных работ. Сопоставляя интегральные индексы состояния почв, рассчитанные с помощью триады данных, и пятибалльную шкалу оценки экологического качества (табл. 1), можно заключить, что когда значения ИС находятся в диапазоне от 0 до 0,30 отн.ед (I и II категории качества), то такие почвы относятся к категориям «чистых» и «слабо нарушенных». Такие почвы в должной степени выполняют экологические функции.

Если же почвам присвоена III или IV категории качества, а ИС в диапазоне от 0,30 до 0,79 отн.ед, то они обладают потенциалом к самовосстановлению. Однако рекомендуется проведение работ по санации (рекультивации) для восстановления их качества до уровня I или II категорий.

Когда интегральный индекс состояния превышает 0,79 отн.ед (V категория качества), экологическое состояние почв следует признать «катастрофическим» и необратимо нарушенным, к указанным почвам следует применять особые меры по консервации.

Повышенный интерес к инновационным разработкам в сферах «зеленой химии» и нанотехнологий стимулировал исследования новых препаратов, которые проведены в рамках ГК №02.740.11.0693 «Разработка нанотехнологий для ремедиации и экотоксикологической оценки химических и радиохимических загрязнений природных сред» ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России, 2009-2013». В ходе проделанной работы удалось выявить эффективные концентрации, повышающие качество почв согласно предложенному индексу состояния, рассчитанному на основе обобщения данных химии, биоиндикации и токсикологии. Наряду с этим, результаты свидетельствуют, что необходим всесторонний и многоуровневый (от организмов до сообществ) биологический контроль экологической безопасности внедряемых гуминовых препаратов. Особенно это касается инновационных продуктов, содержащих инженерные наноматериалы.

ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка урбаноземов на некоторых участках г. Кирова по содержанию в них ряда тяжелых металлов, биоиндикационным и токсикологическим показателям. На основе «Триадного» подхода по данным химических, экологических исследований и биотестирования образцов урбаноземов рассчитаны индексы состояния почв (ИС) и выявлены участки, характеризующиеся различной степенью нарушенности.
2. Оценка экологического состояния урбаноземов методами химического анализа показала, что на площадках, подверженных преимущественному воздействию автотранспорта, изменяется рН среды в сторону подщелачивания, происходит накопление тяжелых металлов Pb, Cd, Ni и Cr, которые на большей части пробных площадок содержатся в количествах, превышающих их фоновое значение.

3. Методами биотестирования показано, что в отличие от фоновых участков, загрязненные почвы характеризуются экотоксичностью по меньшей мере в двух тест-системах.
4. По данным биоиндикационных исследований установлено, что структурно-функциональная организация сообщества почвенных микроорганизмов в условиях загрязнения существенно трансформируется: увеличивается доля меланизированных форм микромицетов, изменяется структура филогенетического разнообразия прокариот, снижается доля актинобактерий и актиномицетов.
5. С помощью «Триадного» подхода продемонстрировано, что урбаноземы г. Кирова, испытывающие транспортную нагрузку, характеризуются «слабо нарушенным» состоянием (ИС для пробных площадок №№2-5 определен в диапазоне 0,23-0,29 отн.ед.), состояние почв пробной площадки (№1), наиболее близко расположенной к автотрассе, характеризуется как «нарушенное» (ИС 0,48 отн.ед).
6. По результатам химического, биоиндикационного и токсикологического исследований установлено, что гуминовые препараты - лигногумат и наномагнетитогумат в концентрациях 0,0025 и 0,01 масс.% положительно воздействуют на качество почвенных образцов: состояние почв которые характеризовалось как «нарушенные» (ИС 0,49 отн.ед) после обработки гуминовыми препаратами перешли в категорию «слабо нарушенных» (ИС 0,22-0,26 отн.ед).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

В журналах, рекомендованных ВАК

- 1 Пукальчик М.А., Терехова В.А. Экотоксикологическая оценка городских почв и детоксицирующего эффекта нанокпозиционного препарата//**Вестник МГУ. Серия 17:Почвоведение**. 2012. №4. С. 26-31.
- 2 Юрищева А.А., Тимофеев М.А., Пукальчик М.А., Рахлеева А.А., Кыдралиева К.А., Маторин Д.Н., Терехова В.А. Нанокпозиционный сорбент для очистки природных сред и его экотоксикологическая оценка//**Экология и промышленность России**. 2011.№ 9. С.50-53.
- 3 Терехова В.А., Кыдралиева К.А., Рахлеева А.А., Пукальчик М.А., Тимофеев М.А., Юрищева А.А. Оценка биобезопасности гуминовых кислот как компонентов наногибридного детоксиканта в стандартных тест-системах // **Токсикологический вестник**. 2012.№2. С.35-40.
- 4 Каниськин М.А., Изосимов А.А., Терехова В.А., Якименко О.С., Пукальчик М.А. Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом// **Теоретическая и прикладная экология**. 2011. № 1. С.87-95.

В других журналах, материалах и тезисах конференций

- 5 Пукальчик М.А., Терехова В.А., Ашихмина Т.Я. Оценка качества урбаноземов г. Кирова методами биоиндикации и биотестирования//**Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научно-инновационная**

- основа рационального землепользования: тез. докл. междунар. конф. М.:МАКС Пресс, 2010. С. 141-144.
- 6 Пукальчик М.А., Изосимов А.А. Экотоксикологическая оценка почвогрунта после обработки промышленными гуматами//«Биологический мониторинг природно-техногенных систем» Всерос. науч-практ. конф. с междунар. участием. Ч2 – Киров :Лобань, 2011. С . 284-285.
 - 7 Pukalchik M.A., Terekhova V.A., Poputnikova T.O., Vavilova V.M., Kaniskin M.A. The integration of chemical., ecotoxicological and ecological data obtained from an extended study carried out in an industrialized area// Europe 21st Annual Meeting of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC2011), 14-17 May, 2011, Milan, Italy. Book of Abstracts, 2011. P 161.
 - 8 Белик А.А, Пукальчик М.А. Влияние современных детоксикантов на почвенные микромицеты// «Почва как природная биогеомембрана» Международная научная конференции XV Докучаевские молодежные чтения – СПб.: ВВМ, 2012. С159-160.
 - 9 Pukalchik M.A., Terekhova V.A., Izosimov A.A., Yakimenko O.S., Kydralieva K.A. Influence of Humic-based Sorbents on Bioavailability of Lead in Soil// Europe 22st Annual Meeting of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC 2012), 20-24 May, 2012, Berlin, Germany. Book of Abstracts, 2012, P 183.
 - 10 Pukalchik M.A., Terekhova V., Yakimenko O., Akulova M., Kydralieva K., Poloslin R. Modeling remediation of urban chemical polluted soil using two types of humic-based sorbents// Second International Conference of CIS IHSS on Humic Innovative Technologies «Natural and engineered nanoparticles in clean water and soil technologies», Moscow, 2012. P.45.
 - 11 Пукальчик М.А., Семенова Т.А., Терехова В.А. Влияние транспортной нагрузки на микобиоту городских почв // Международная конференция "Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред", Москва, 2013 P.44.