

На правах рукописи

Феоктистова Ирина Дмитриевна

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ
НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
(НА ПРИМЕРЕ Г. ВЛАДИМИРА)**

Специальность 03.02.08 – Экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владимир 2012

Работа выполнена на кафедре экологии факультета химии и экологии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Научный руководитель

Доктор биологических наук, профессор Трифонова Татьяна Анатольевна

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук, профессор,
Российский государственный аграрный
университет имени К.А.Тимирязева,
зав. кафедрой земледелия и
агрометеорологии

Мазиров Михаил Арнольдович

Доктор сельскохозяйственных наук
МГУ им. М. В. Ломоносова,
факультет почвоведения
ведущий научный сотрудник

Карпова Дина Вячеславовна

Ведущая организация: ГНУ Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии

Защита состоится 20 апреля 2012 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.025.07 во Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, кор. 1, ауд. 335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ.

Автореферат разослан _____ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент

Н. В. Мищенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. В настоящее время отмечается повышенный интерес к исследованию экологического состояния объектов окружающей среды урбанизированных территорий. Изучение почв и почвенного покрова в таких исследованиях занимает важное место.

Городские почвы это совершенно особые, до сих пор мало изученные биологические системы, отличные по ряду свойств от природных. Они характеризуются высокой мозаичностью и неравномерностью профиля, значительным уплотнением, щелочной реакцией среды, загрязнением различными токсическими веществами.

Почвы урбанизированных территорий несут повышенную антропогенную нагрузку. Вследствие этого происходит процесс деградации почвенных профилей, их нормальное функционирование становится невозможным. И в то же время почвы выполняют разнообразные экологические функции, главными из которых являются: пригодность для произрастания зеленых насаждений, способность сорбировать в толще загрязняющие вещества и удерживать их от проникновения в почвенно-грунтовые воды и т.д.

Анализ соответствующей литературы и документальных данных показывает, что в настоящее время при оценке экологического состояния территорий городов вопросы изменения комплекса показателей биологической активности почв, загрязненных нефтепродуктами, их самовосстанавливающая способность и загрязненность подвижными формами тяжелых металлов (ТМ) могут служить ранними диагностическими признаками, позволяющими заметить негативные изменения на начальных стадиях.

Изучение комплекса этих показателей позволит более точно понять направленность изменений, происходящих в городских почвах, а органам местного самоуправления принимать управленческие решения, направленные на устойчивое развитие урбанизированных территорий. Кроме того, следует учитывать, вопрос о безопасности для здоровья человека урожая, собранного в садах и огородах, находящихся на территории города.

Актуальность исследований обусловлена определением уровня загрязнения урболандшафтов с учетом их почвенных характеристик при комплексном загрязнении.

Таким образом, в настоящей работе представлены результаты исследований экологического состояния почв урбанизированных территорий

крупного промышленного центра (г. Владимира), имеющих разные антропогенные нагрузки на почвенно-растительный покров.

Цель и задачи исследований. Целью исследования явилось изучение экологического состояния городских почв, находящихся в зонах антропогенного воздействия автозаправочных станций, промышленных зонах и районах, прилегающих к основным автотранспортным магистралям.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определить основные показатели физико-химического состояния трансформированных почв, в их числе: активную кислотность, массовую долю нефтепродуктов, накопление тяжелых металлов;
- составить карту загрязнения почв территории г. Владимира ТМ;
- провести модельный опыт по оценке миграционных свойств ТМ;
- изучить микробиологическую активность почв урбанизированных территорий г. Владимира по содержанию представителей р. *Azotobacter* и активность фермента уреазы;
- дать математическое описание дозо-ответной реакции активности фермента уреазы на комбинированное техногенное воздействие нефтепродуктов и ТМ.

Научная новизна работы. Впервые проведены комплексные исследования по оценке экологического состояния почв г. Владимира. Изучены изменения и составлены карты свойств почв, несущих повышенную антропогенную нагрузку в результате длительного воздействия на них химических веществ органического происхождения (нефтепродуктов) и тяжелых металлов в связи с функциональным использованием территорий. Установлены корреляционные зависимости между полученными показателями. Рассчитана математическая модель дозо-ответной реакции почв по параметру уреазной активности ($УА, ч^{-1}$) в зависимости от содержания нефтепродуктов ($С_{нi}$, мг/кг) и суммарного показателя загрязнения почв тяжелыми металлами ($Z_{сi}$). Оценены значимость и последствия антропогенной деятельности, тенденция развития техногенного загрязнения почв урбанизированных территорий.

Основные положения, выносимые на защиту:

- повышенными значениями содержания нефтепродуктов характеризуются верхние слои почвы АЗС, находящихся в эксплуатации более 30 лет;

- наибольшим уровнем аккумуляции тяжелых металлов отличаются почвы промышленных зон и исторического ядра г. Владимира;
- рост активности азотобактера наблюдается в почве при повышенном и пониженном содержании нефтепродуктов;
- фермент уреазы играет существенную роль в процессе самоочищения городских почв, загрязненных нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

Практическое значение работы.

В условиях г. Владимира проведено комплексное многокомпонентное исследование почв городских ландшафтов. Его результаты позволяют судить об изменении биологической активности почв урбанизированных территорий, что может служить теоретической основой для разработки мер по охране городских почв.

Доказано, что биоиндикационные исследования в совокупности с физико-химическими анализами являются информативными признаками для изучения экологической ситуации крупного промышленного центра.

Результаты работы могут быть использованы при оценке экологического состояния почв природоохранными, производственными и научными организациями в землепользовании, планировании градостроения. Особенно они важны в области экологической экспертизы и нормирования, в прогнозировании антропогенного воздействия на окружающую среду. Информационная база полученных результатов может использоваться при составлении почвенных карт-схем экологического атласа г. Владимира.

Апробация работы.

Основные положения диссертации докладывались на Международных научно-практических конференциях «Экология речных бассейнов» 2002, 2005, 2009, 2011 гг; Материалы IV-го Докучаевского общества почвоведов, 2004 г; 4th International Conference on Soils Urban Industrial, Traffic and Mining Areas, Nanjing, China, 2007г; III Юбилейной международной научно-практической конференции «Экология регионов» 2010 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано девять работ, в том числе две статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации.

Диссертация изложена на 160 страницах, состоит из введения, трех глав (литературный обзор, объекты и методы исследования, результаты исследований и их обсуждение) выводов и восьми приложений. Работа со-

держит 11 таблиц, 35 рисунков. Список литературы включает 150 источников, из них 25 работ зарубежных авторов.

Благодарности. Автор выражает особую признательность своему научному руководителю д. б. н., профессору Татьяне Анатольевне Трифоновой за пристальное постоянное внимание к работе, ценные советы и рекомендации. Автор признателен за поддержку и методическую помощь к. т. н., профессору Н. В. Селивановой, к. б. н., доценту О. Н. Сахно, к. т. н., доценту А. Н. Краснощекову, к. х. н., доценту Л. А. Ширкину, также благодарен всем сотрудникам кафедры экологии ВлГУ за помощь, оказанную в работе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Литературный обзор

В главе рассматривается экологическая роль почв в городской среде. Изложены некоторые подходы к классификации городских почв (Н. С. Касимов, 1995; Н. В. Герасимова и др., 2003; М. Н. Строганова, 1997, 2005;). Дан обзор литературы, раскрывающий воздействие атмотехногенного загрязнения почв и почвенного покрова нефтепродуктами и тяжелыми металлами (Н. М. Исмаилов, 1988; М. А. Глазовская 1988; В. С. Гузеев, 1989; Е. М. Bridges, 1989; Г. В. Добровольский, 1997; С. Л. Давыдова, 2002, Д. С. Орлов, 2002 и др.)). Описано их воздействие на организм человека. Рассмотрены вопросы биологической диагностики и мониторинга состояния почв урболандшафтов (А. Х. Мукатанов, 1980; Н. М. Исмаилов, 1988; А. В. Кураков, М. А. Глазовская, 1988, 1992; Б. М. Латыпов, 2000; С. А. Трифанов, 2000).

В этом загрязнении большую роль играют не только стационарные промышленные предприятия, но и мобильные источники, особенно автотранспорт, количество которого с увеличением размеров городов и их населения постоянно повышается. Если 15 – 20 лет назад атмосферу города загрязняли в основном отходы промышленности и энергетики, то сегодня «пальма первенства» перешла к «химическим фабрикам на колесах» – автотранспорту, на долю которого приходится до 90 % всех выбросов в атмосферу.

В последнее десятилетие во всем мире интерес к тяжелым металлам как загрязнителям окружающей среды возрос. Прежде всего, это связано с

фактами острых токсикозных эффектов, вызванных попаданием в организм человека ТМ.

Глава 2. Объекты и методы исследований

Исследования были проведены на почвах г. Владимира, являющегося крупным промышленным и культурным центром ЦФО России. Население города около 360 тыс. чел.; в поселках, входящих в городскую черту, проживает до 13 тыс. чел. Площадь города 7940 га, в том числе территория городской застройки 6880 га; селитебная зона – 2030 га. Город расположен на границе двух различных природных районов – лесной Мещеры и Ополья.

Основные почвы области и города трансформированные светло-серые лесные и дерново-подзолистые. Почвы характеризуются небольшой мощностью дернового горизонта, сравнительно низким содержанием гумуса и питательных веществ. Они бедны валовыми запасами и подвижными формами азота и фосфора. В центре Владимира почвы формируются на мощном культурном слое – наследии прошлых эпох, а на окраинах, в районах нового строительства, почвообразование развивается на свежих насыпных или перемешанных грунтах.

Естественный почвенный покров на большей части городских территорий уничтожен и сохранился лишь островками в городских лесопарках. Характерны отсутствие генетических горизонтов и наличие различных по окраске и мощности слоев искусственного происхождения. В промышленных зонах преобладают химически загрязненные индустриземы, вокруг АЗС формируются интруземы, пропитанные масляно-бензиновыми жидкостями, а в районах новостроек – почвоподобные тела (реплантоземы).

Город Владимир – крупный промышленный центр (свыше 50 крупных и средних предприятий), поэтому на его территории сложилось несколько функционально промышленных зон.

Объектами исследования послужили почвы города в местах расположения автозаправочных станций на магистральных потоках и федеральной трассе Москва – Казань, а также территорий, находящихся под воздействием промышленных предприятий. В качестве контрольных образцов была использована необрабатываемая огородная почва в экологически чистом районе. Анализировались верхние горизонты (1-й слой – 0 – 10 и 2-й – 10 – 20 см).

Отбор проб почвы проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 "Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа". Точечные пробы отбирались из поверхностных горизонтов методом конверта, по диагонали.

Для проведения исследований было отобрано более 400 почвенных проб, проведено около 2000 анализов.

Активную кислотность определяли методом потенциометрии на универсальном иономере «Электрон-001». Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах проводили на анализаторе жидкости «Флюорат-02-2М» по ПНДФ 16.1.21-98. Рентгенофлуоресцентное определение содержания тяжелых металлов проводили на приборе спектроскан «МАКС G».

При исследовании биологической активности городских почв оценивали численность индикаторных бактерий рода *Azotobacter* на безазотистой среде Эшби методом почвенных комочков (Кутузова Р. С. Микробиологическая трансформация, 1994). Ферментативную активность исследуемых почв определяли по активности фермента уреазы экспресс-методом (Аристовская Т. В. Экспресс-метод определения, 1989).

Многофакторный регрессионный анализ по мониторинговым данным почв города осуществлен в среде Mathcad с применением метода наименьших квадратов и алгоритма оптимизации Левенберга-Маркварда.

Расчет верхней оценки концентрации ТМ произведен на основе теоремы Шеннона как верхней оценке границы концентрации.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Excel с последующим транспонированием. Результаты анализировались в программах Statistica, MapInfo.

Глава 3. Результаты исследований и их обсуждение

3.1. Активная кислотность исследуемых почв. Активная кислотность (рН) является одной из наиболее важных характеристик при исследовании деградационных изменений почв урбанизированных территорий. Несмотря на простоту определения, значение рН зависит от множества взаимодействующих природно-техногенных факторов и служит информативным показателем возможного содержания питательных веществ в почве, пригодности ее для произрастания растений и т.п.

Результаты наших исследований показали, что реакция почв повышенная по отношению к контролю. Среднее значение рН составило 7,41, максимальное – 8,18; минимальное – 6,64 (рис. 1).

В основном наблюдается следующая закономерность: верхний горизонт почвы отличается от нижнего более высокой щелочностью, что подтверждает техногенное загрязнение почв. Подщелачиваемый эффект достигается в результате попадания в почву через поверхностный сток и дренажные воды хлоридов кальция и натрия, а также других солей, которые используют для посыпания тротуаров и дорог в зимнее время года. Другой причиной могут быть соединения кальция, которые высвобождаются под действием кислотных осадков, из обломков строительного мусора, цемента и кирпича, имеющих щелочную среду; щелочные пылевые выпадения, а также временное складирование отходов производства.

Выявлена четкая корреляционная зависимость активной кислотности в почвенных слоях (рис.2). Это способствует депонированию загрязнителей в верхнем слое, поэтому при рекультивации целесообразно снимать верхний слой загрязненной почвы.

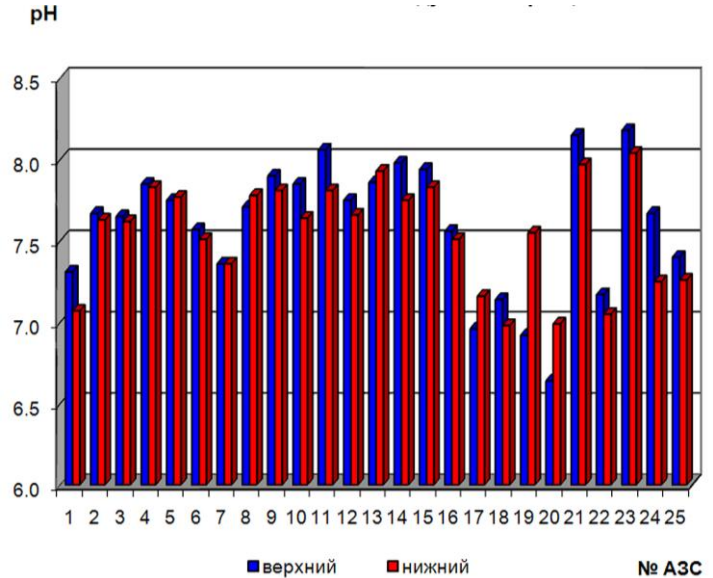


Рис. 1. Активная кислотность в исследуемых почвах

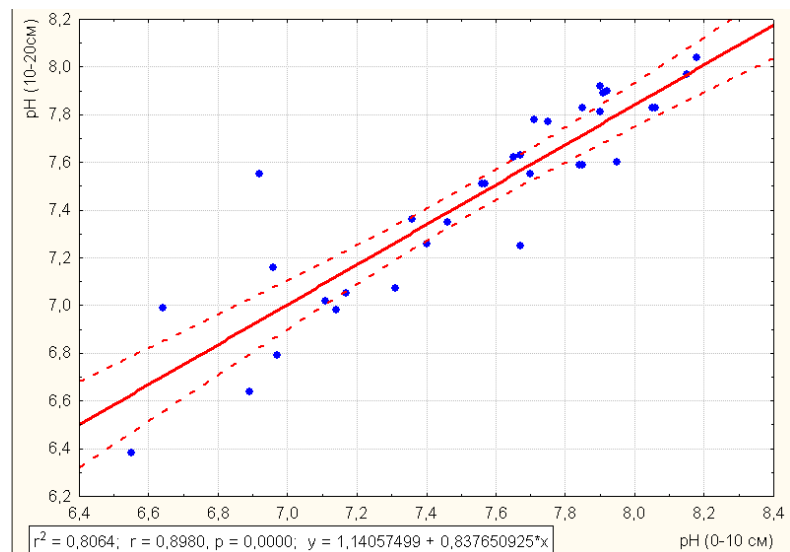


Рис. 2. Корреляционная зависимость активной кислотности в почвенных слоях

3.2. Загрязнение почв нефтепродуктами. Это особый вид загрязнения, который приводит к глубокому изменению практически всех основных характеристик почвы, а нередко и к формированию новых свойств. Основная причина – химический состав нефти, которая представляет собой смесь нескольких десятков индивидуальных веществ.

Особенностью нефтяного загрязнения в условиях городских экосистем является его стационарное состояние, поэтому мы можем рассматривать такое понятие как концепция критических нагрузок, которая основана на биогеохимических принципах и предполагает определение того уровня поступления поллютантов, когда начинается их вредное воздействие на экосистемы. Содержание нефтепродуктов в исследованных почвах АЗС колебалось в пределах от 40 до 4961 мг/кг почвы (рис. 3).

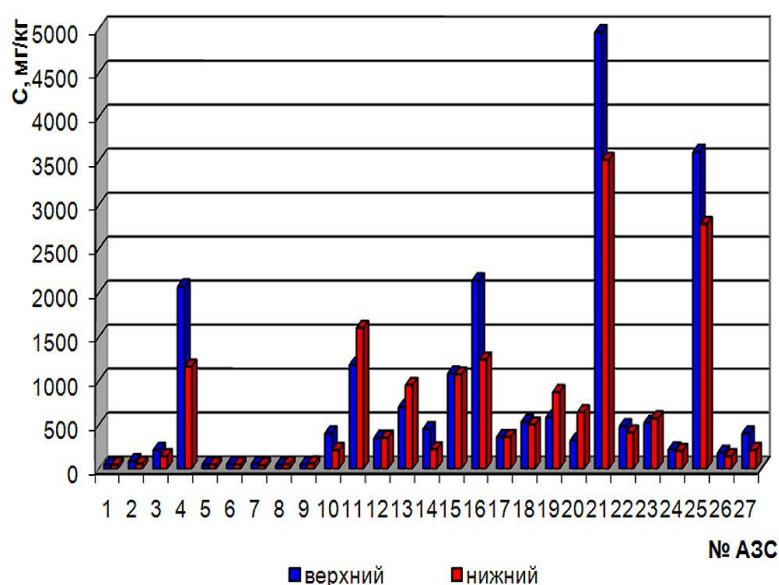


Рис. 3. Массовая доля нефтепродуктов в исследованных почвах АЗС (т. 26 и 27 – территория парковой зоны)

Повышенные концентрации нефтепродуктов выявлены в почвах АЗС, находящихся в эксплуатации длительное время (более 30 лет) (№ 4, 11, 15, 16, 21, 25). В целом, выявлена следующая зависимость содержания нефтепродуктов в почвенных горизонтах: в верхнем – содержание массовой доли нефтепродуктов больше, чем в нижнем.

Исключение составляют АЗС, на которых проведена рекультивация: удаление верхнего, наиболее загрязнённого слоя почвы, его захоронение и нанесение на загрязнённую почву слоя чистой плодородной земли мощностью до 10 см.

Полученные нами результаты позволяют отнести почвы г. Владимира по содержанию массовой доли нефтепродуктов: к незагрязненным и слабозагрязненным – 25 % (почвы АЗС, прошедшие санитарно-гигиеническую

обработку); к средней степени загрязнения – 50 % и к сильнозагрязненным – 25 %.

Также отмечается закономерность, что при высоких значениях pH содержание нефтепродуктов наибольшее в обоих исследуемых слоях почвы.

3.3. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами.

Были исследованы образцы почв на содержание тяжелых металлов всех трех классов опасности (Zn, Cu, Ni, MnO, Fe₂O₃, Pb, Cr, As, Sr, TiO₂, V, Co) (рис. 4). В почвах города создается положительный баланс тяжелых металлов, в результате чего практически повсеместно имеет

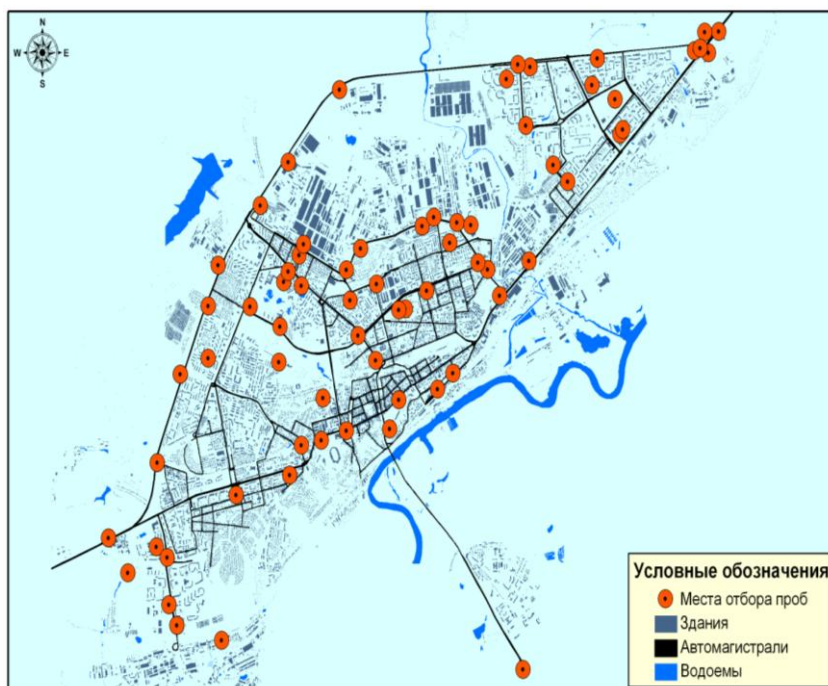


Рис. 4 Карта отбора проб

место превышение их фонового содержания и верхней оценки границы концентрации (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах г. Владимира (слой 0 – 10 см), мг/кг

Зона	Свинец	Цинк	Медь	Кобальт	Хром	Никель
Фон	14,9	47,3	-	4,6	84,0	35,0
Верхняя оценка границы концентрации	46,8	71,9	17	16,7	101,8	113,5
Превышение (%) от общего количества проб к верхней оценке границы	57,5	77,5	84,5	24,0	7,0	0,05

Цинк является приоритетным загрязнителем исследуемой территории по отношению к верхней оценке границы концентрации (77,5 %). Наи-

более отчетливо дифференциация функциональных зон по распределению цинка выражена в местах размещения отходов (гальваношламов) на территориях промышленных предприятий.

Содержание **свинца** превышает примерно в 5 раз фоновое значение на территории с интенсивным воздействием промышленных факторов и зон транспортных магистралей. Различия между отдельными функциональными зонами незначительны. Исключение составляют естественные ландшафты, расположенные за пределами интенсивного влияния техногенных факторов.

Уровень загрязнения почв города **медью** также весьма значителен (84,5 % от общего количества проб). Максимальное содержание элемента характерно для промышленной зоны, где в среднем верхняя граница оценки концентрации превышена в восемь раз. Наибольший уровень аккумуляции, как и в случае с цинком, характерен для почв площадок размещения производственных отходов (гальваношламов). Значительное содержание отмечено в транспортной зоне с высокой интенсивностью движения.

Анализ данных по содержанию **хрома** в почвах города позволяет сделать вывод: максимальная аккумуляция элемента в промышленной зоне, наблюдается снижение в транспортной и близкое к фоновому содержанию на других территориях. Уровень накопления элемента не высок, что связано с его слабой эмиссией от выбросов промышленных предприятий.

Повышенный уровень загрязнения почв города **кобальтом** отмечен более чем в 24 % исследованных проб. Аккумуляция элемента по сравнению с верхней границей оценки концентрации в среднем составила три раза.

В исследуемых урболандшафтах **никель** не является приоритетным загрязнителем. Максимальное содержание элементов никеля и кобальта (превышение почти в 10 раз) характерно для промышленной площадки на стыке машиностроительных предприятий.

Отмечено повышенное содержание **мышьяка** на большей части территории города (максимальное в 25 раз): одна – историческое ядро (Владимир один из древнейших городов России, в котором жили кузнецы, гончары и оружейники); другая – территории, примыкающие к промышленным предприятиям.

Данные наших исследований выявили повышенное содержание **ванадия** по отношению к фоновому значению (максимальное в 3 раза)

вдоль трассы Москва – Нижний Новгород, исторический центр города, а также район Доброго на производственных площадках, прилегающих к ТЭЦ.

Превышение содержания **титана** отмечено вдоль автотрассы Москва – Нижний Новгород, район завода «Электроприбор».

Повышенное содержание **железа** отмечено практически на всей территории г. Владимира. Превышение валового содержания железа имеется на ул. Добросельская, в районе тепличного хозяйства и др. Высокий уровень накопления элемента обусловлен, по-видимому, повышенной фоновой концентрацией для данной почвенно-геохимической ассоциации.

Марганец, как и железо не относится к токсичным загрязнителям. Анализ наших исследований показал, что содержание элемента по отношению к фоновому значению превышает этот показатель в историческом центре города, вдоль автомагистрали Москва – Нижний Новгород.

Превышение концентрации **стронция** обнаружено на промышленных территориях Тракторного завода и завода «Точмаш», Электромоторного завода, Владимирского завода керамических изделий.

Разработаны карты аккумуляции тяжелых металлов на исследуемой территории и выявлены зоны с повышенным фоновым значением и превышением верхней оценке границы концентрации.

На рис. 5 представлен суммарный показатель загрязнения почвы, характеризующий степень химического загрязнения обследуемых территорий, который зависит не только от набора и уровня содержания конкретных элементов, но и особенностей их взаимного воздействия на биоту.

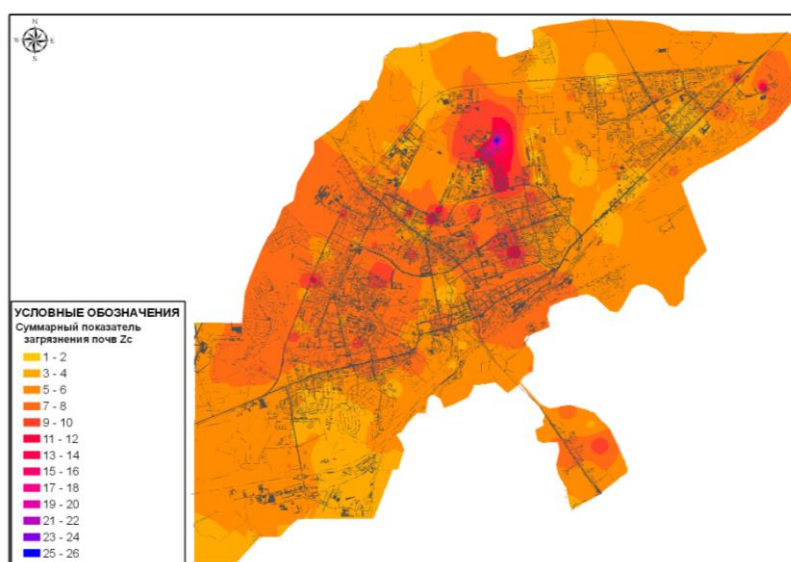


Рис. 5. Суммарный показатель загрязнения почв г. Владимира тяжелыми металлами

Таким образом, на основе изучения содержания исследуемых тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почв г. Владимира выявлено, что превышение фонового значения элементов отмечено практически на всей территории города. Наибольшая аккумуляция ТМ наблюдается на стыке промышленных зон, чему сопутствуют особенности характерной рельефной дисперсии.

Миграция и трансформация ТМ в почвенных образцах в различных физико-химических условиях. С целью исследования миграции ТМ в различных физико-химических условиях были поставлены модельные опыты на образцах почв, отобранных из верхнего генетического горизонта А.

В почвах урболандшафтов наблюдается повышенная активная кислотность. Но под влиянием кислотных выпадений рН почв неизменно уменьшается. Исследование миграции ТМ проводили на образцах почв гомогенного состава в различных физико-химических условиях: рН = 3 и рН = 5; ТМ в форме растворимых солей и гидроксидов. Кроме того, отдельно исследовалась миграция свинца.

Большая часть соединений металлов аккумулируется в верхнем слое почвенных образцов. Поэтому миграционную способность тяжёлых металлов наилучшим образом характеризуют результаты балансовых расчётов (табл. 2), где показано соотношение доли элемента, аккумулировавшегося верхним четырехсантиметровым слоем почвы (1-й слой) и доли этого элемента, прошедшей в нижележащие слои (2-й слой). Расчёт осуществлялся относительно дозы металла, внесённой в образцы почв.

Таблица 2

Результаты балансовых расчётов (процент от внесённого количества металла)

рН	Cr		Co		Ni		Cu		Zn		Pb	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
5,0	44,3	55,7	100	0,0	11,9	88,1	9,9	90,1	10,0	90,0	3,4	96,6
3,0	37,9	62,1	71,2	28,8	7,5	92,5	7,7	92,3	6,5	93,5	16,2	83,8

Наибольшую миграционную способность во всех почвенных образцах проявляют медь, свинец и цинк, а наименьшую – кобальт. Эта тенденция выдерживается устойчиво независимо от состава почвенных образцов и рН промывных вод.

Сравнивая по относительной миграционной способности элементы в почвенных образцах, имеющих одинаковую плотность и средний диаметр частиц, но отличающихся по химическому составу, можно сделать вывод, что в верхних органогенных горизонтах скорость перераспределения тяжёлых металлов оказывается в целом ниже, чем в нижележащих суглинистых, содержащих мало органического углерода. Процессы миграции ТМ из растворов солей и гидроксидов качественно не отличаются.

Анализ результатов модельного опыта показал, что миграция тяжёлых металлов при выпадении кислотных осадков будет происходить интенсивнее.

3.4. Микробиологическая активность исследуемых почв. Микробные сообщества почв города сохраняют некоторые природные экологические ниши и в то же время начинают осваивать возникшие новые микроразнообразия антропогенного характера.

Исследование биологической активности городских почв проводилось по двум показателям: численности индикаторных бактерий рода *Azotobacter* и активности фермента уреазы.

Интенсивность развития *Azotobacter chroococcum* на загрязненной нефтепродуктами почве демонстрируют снимки, полученные с применением растрового электронного микроскопа Quanta 200 3D (рис. 6, 7).

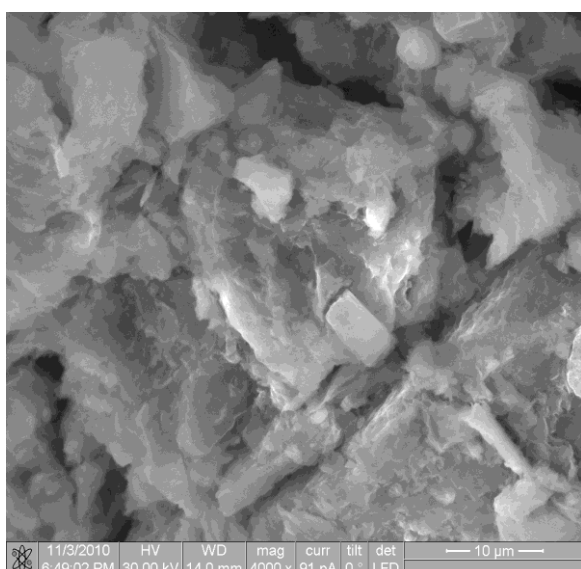


Рис. 6. Минеральная фракция контрольного почвенного образца (горизонт А)

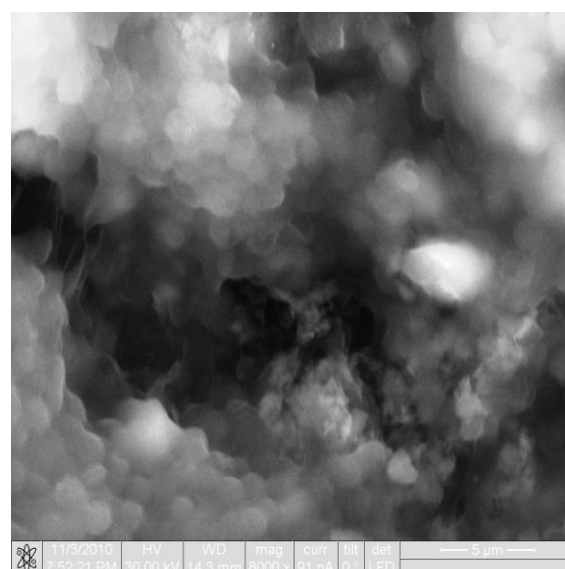


Рис. 7. Компоненты коллоидной системы почвенного образца в присутствии *Azotobacter chroococcum*

Было установлено, что азотобактер распределен в почвах г. Владимира неравномерно как в пространстве, так и по почвенному профилю. Прослеживалась следующая тенденция содержания азотобактера: наибольшее его количество наблюдалось при слабом загрязнении почвы нефтепродуктами (до 1000 мг/кг); при среднем загрязнении (до 2000 – 2500 мг/кг) – значения содержания азотобактера опускались до минимума, а при повышенных содержаниях нефтепродуктов (более 2500 мг/кг) численность его опять начинала увеличиваться (табл. 3). Это связано с тем, что, по-видимому, в таких почвах увеличивается содержание легкодоступного органического вещества, что стимулирует рост и развитие азотобактера. Интенсификации азотфиксации способствует также слабощелочная реакция урбаноземов.

Таблица 3

Содержание нефтепродуктов и азотобактера в урбопочвах автозаправочных станций

Номер пробы	Нефтепродукты 10-20 см, мг/кг	Количество колоний азотобактера 10-20 см	pH слой 10-20 см
1	38	49	7,3
2	210	45	7,5
3	220	48	7,6
4	350	48	7,5
5	710	48	7,3
6	107-	39	7,8
7	1160	38	7,8
8	1180	38	6,6
9	1550	45	7,9
10	1600	44	7,8
11	2780	48	7,2
12	3510	47	7,9
13	4780	50	7,4
Контроль	22	2	6,0

Выявлена корреляционная зависимость количества колоний азотобактера между нижним и верхним почвенными слоями на всей исследованной территории. На рис. 8 показана корреляционная зависимость между активной кислотностью почвы и количеством колоний азотобактера.

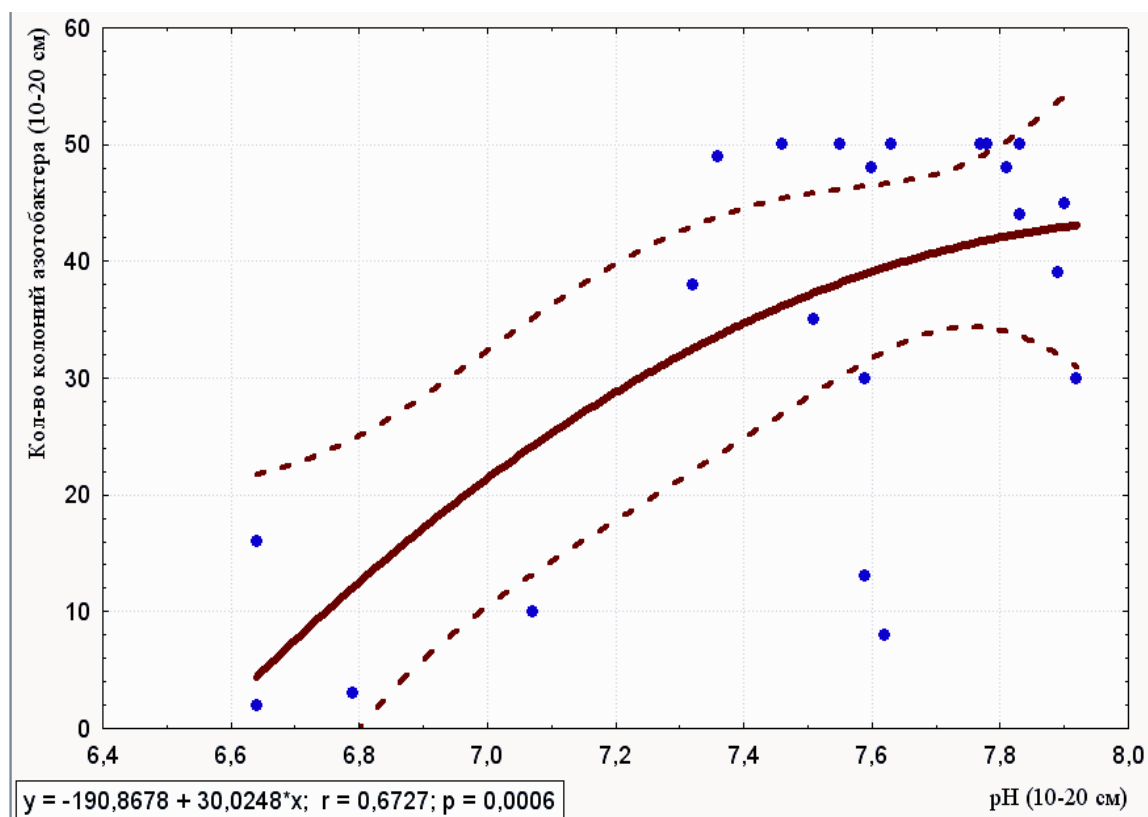


Рис. 8. Зависимость количества колоний азотобактера от активной кислотности

Очевидно, что количество колоний азотобактера увеличивается при подщелачивании среды, характерной для урбаноземов. Возможно, при определенных условиях загрязнения почв происходят перераспределение доминирования среди активно функционирующих в почве микроорганизмов, отбор устойчивых популяций азотобактера и установление нового динамического состояния.

Одним из диагностических критериев самоочищения почвы является ферментативная активность, так как, с одной стороны, она достаточно достоверно определяется в лабораторных условиях, а с другой – очень чутко реагирует на изменение внешних условий. Фермент уреазы обладает строгой специфичностью действия: расщепляет только мочевины и не воздействует на ее производные соединения. Активность уреазы в исследованных почвах неодинаковая: при слабом загрязнении почвы нефтепродуктами – минимальной, причем в некоторых случаях она оставалась неизменной в течение 9 ч; при среднем – скорость разложения мочевины была высокой, а

при сильном загрязнении (более 2000 мг/кг) – происходило постепенное снижение активности уреазы (рис. 9).

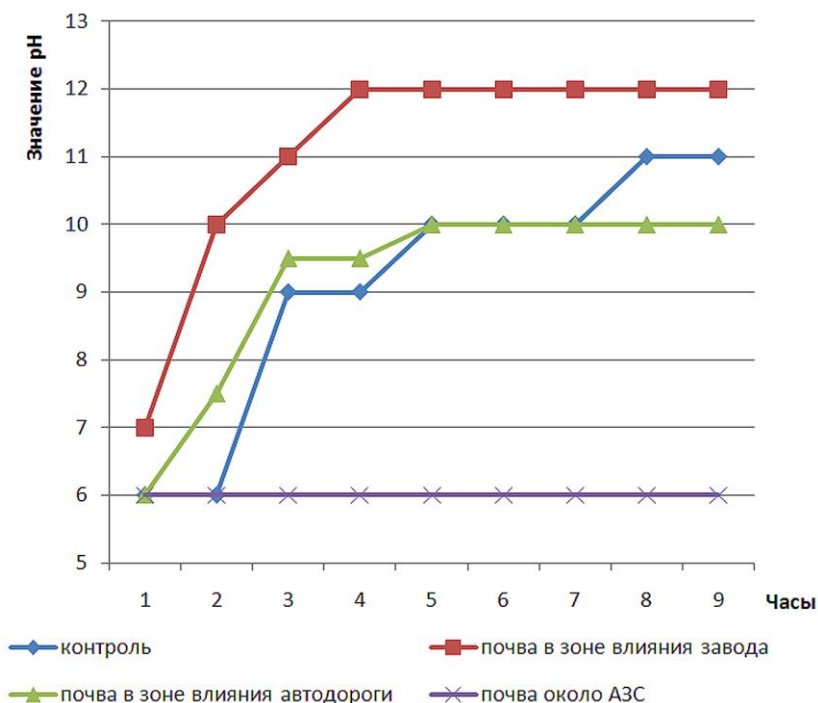


Рис. 9. Уреазная активность почв г. Владимира

В зонах с высокой антропогенной нагрузкой активность уреазы была наибольшей, причем в некоторых случаях рН достигало максимального значения уже через 4 ч опыта. Мочевина также энергично разлагалась в контрольном образце.

В освоенной почве активность уреазы была невысокой, и процесс разложения мочевины развивался медленно, причем увеличение рН на 1 – 2 единицы (по отношению к исходному уровню 6,0) запаздывало на несколько часов по сравнению с контролем. С одной стороны, это связано с небольшим количеством органических веществ, а с другой – свидетельствует о низкой способности почв к самоочищению.

Оценка средних значений уреазной активности осуществлялась медианным методом. Среднее время нарастания составило 1,7 часа.

Для оценки отклика почв на комбинированное техногенное воздействие построена математическая модель дозо-ответной реакции по параметру уреазной активности (УА, ч⁻¹) в зависимости от содержания нефтепродуктов (С_н, мг/г) и суммарного показателя загрязнения почв тяжелыми металлами (Z_с). Она имеет вид двухмерного параболического гиперboloида в логарифмических координатах (рис.10):

$$УА = a_0 + a_1 \cdot \ln C_n + a_2 \cdot \ln Z_c + a_3 \cdot \ln^2 C_n + a_4 \cdot \ln C_n \cdot \ln Z_c + a_5 \cdot \ln^2 Z_c$$

где $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – эмпирические коэффициенты.

Область максимальных значений уреазной активности наблюдается при концентрациях нефтепродуктов от 44 до 5461 мг/кг и по показателю суммарного загрязнения тяжелыми металлами от 3 и до 11. При концентрациях ТМ, близких к фоновым, предельное значение концентрации нефтепродуктов составляет 253 мг/кг; превышение

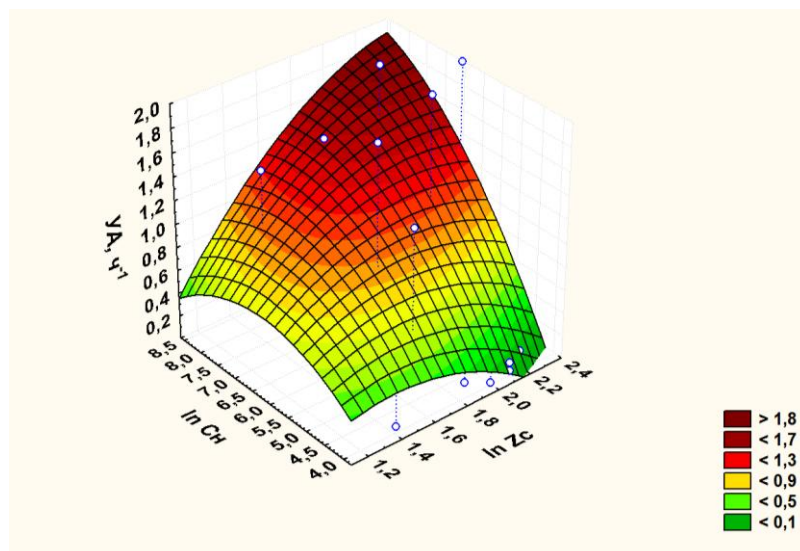


Рис. 10. Вид поверхности доза-ответ для показателя уреазной активности почв в двухмерном пространстве факторов

этой величины приводит к угнетению уреазной активности. Для концентраций ТМ, соответствующих $Z_c = 11$, предельное значение концентрации нефтепродуктов составляет 34910 мг/кг, при этом уреазная активность достигает наивысших значений, а за пределами указанных значений уреазная активность нелинейно убывает.

Быстрое нарастание активности уреазы и высокий уровень ее в загрязненных образцах свидетельствует о высокой устойчивости этого фермента к ингибирующим факторам; следует полагать, что этот фермент играет большую роль в самоочищении таких почв.

С одной стороны, невысокая активность уреазы и медленное ее нарастание в почвах с пониженной антропогенной нагрузкой, возможно, связано с небольшим количеством органических веществ, что неблагоприятно сказывается на функционировании данного фермента. С другой стороны, низкий уровень уреазы в почвах некоторых АЗС, возможно, свидетельствует о низкой способности почв к самоочищению.

Полученные нами данные позволяют говорить об изменениях функциональных (уреазная активность, активность азотобактера) характеристик микробных ценозов, о способности почв к самовосстановлению.

Влияние повышенных концентраций нефтепродуктов на биологическую активность. Для выявления влияния более высоких концентра-

ций нефтепродуктов в почве на активность азотобактера и фермента уреазы был поставлен модельный опыт. Максимальное содержание нефтепродуктов в почвах отобранных образцов составило 5000 мг/кг. В качестве модельных образцов использовались окультуренная почва и почвы с повышенной антропогенной нагрузкой, в качестве модельных токсикантов – нефть Апшеронского месторождения (Азербайджан), нефть Тюменского месторождения и отработанные моторные масла.

Анализ результатов модельного опыта показал, что повышенные концентрации нефтепродуктов (10 и 20 кг/м²) не оказывают угнетающего влияния на рост и развитие бактерий рода *Azotobacter*. Они остаются максимальными (100 %), а также не наблюдается изменений в нарастании уреазной активности, следовательно, азотобактер является оперативным индикатором загрязнения почв нефтепродуктами даже в малых их дозах.

ВЫВОДЫ

1. Исследованные почвы имеют выраженный слабощелочной характер. Максимальный уровень рН отмечен в районе с наибольшей техногенной нагрузкой, что способствует депонированию загрязнителей в верхнем почвенном слое. Повышенные концентрации нефтепродуктов до 4961 мг/кг выявлены в почвах АЗС, находящихся в эксплуатации длительное время (более 30 лет).

2. Проведено зонирование городских почв Владимира по содержанию в них ТМ. Приоритетными загрязняющими веществами являются соединения меди, цинка и свинца. Наибольший уровень аккумуляции ТМ имеют почвы промышленных зон, где скопились отходы в виде гальваношламов. Почвы исторического ядра города характеризуются глубинным реликтовым загрязнением, в состав которого входят мышьяк, марганец, хром, никель.

3. Моделирование процесса миграции ТМ показало, что наибольшую миграционную способность во всех почвенных образцах проявляют соединения меди, свинца и цинка, а наименьшую – кобальта. Процессы миграции ТМ из растворов солей и гидроксидов качественно не отличаются.

4. Установлены следующие особенности содержания азотобактера в загрязненных почвах: наибольшее его количество наблюдалось при слабом загрязнении почвы нефтепродуктами (до 1000 мг/кг); при среднем загрязнении (до 2000 – 2500 мг/кг) значения содержания азотобактера опускались до минимума, а при повышенных содержаниях нефтепродуктов (более 2500

мг/кг) численность его опять начинала увеличиваться, что связано с повышением содержания легкодоступного органического вещества, стимулирующего рост и развитие азотобактера.

5. В загрязненных городских почвах активность уреазы значительно возрастает по сравнению с контролем. Следует полагать, что уреазы играют существенную роль в процессах их самоочищения.

6. Повышенные концентрации тяжелых металлов стимулируют нарастание уреазной активности в присутствии незначительных концентраций нефтепродуктов. Максимальные значения понижаются при повышении этих концентраций и по мере увеличения загрязненности почв ТМ.

7. Математическое моделирование дозо-ответной реакции по параметрам уреазной активности в зависимости от содержания нефтепродуктов и суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) позволило определить область ее максимальных значений. Повышенные концентрации ТМ (Z_c от 3 до 11) в присутствии нефтепродуктов в количестве 253 мг/кг способствуют значительному повышению уреазной активности. Это свидетельствует о высокой устойчивости данного фермента к ингибирующим факторам. Низкий уровень уреазной активности в почвах может свидетельствовать о низкой способности почв к самоочищению и необходимости рекультивации.

8. Основные показатели физико-химического состояния трансформированных почв: активная кислотность, массовая доля нефтепродуктов и накопление тяжелых металлов в совокупности с биологической диагностикой могут служить ранними диагностическими признаками, позволяющими оценить процессы деградации в урболандшафтах на начальных стадиях.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Феоктистова, И. Д. Оценка экологического состояния почв урбанизированных территорий, загрязненных нефтепродуктами / И. Д. Феоктистова, О. Н. Сахно, А. Г. Журавлева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – № 1(5). – С. 1233. – ISSN 1990-5378.
2. Феоктистова, И. Д. Диагностика процессов цикла азота в оценке биологической активности городских почв / И. Д. Феоктистова, О. Н. Сахно, А. Г. Журавлева, // Экология урбанизированных территорий. – 2011. – № 2. – С. 98. – ISSN 1816-1863.

3. Феоктистова, И. Д. Влияние загрязнения воды тяжелыми металлами на микроэлементный состав гидробионтов / И. Д. Феоктистова, Е. П. Гришина, А. Г. Ковалев // Экология речных бассейнов : тр. II Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2002. – С. 296.
4. Чеснокова, С. М. Экологическая оценка почв городских ландшафтов, загрязненных нефтепродуктами / С. М. Чеснокова, И. Д. Феоктистова // Почвы – национальное достояние России : материалы 4-го Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск : Наука-Центр, 2004. – С. 649.
5. Феоктистова, И. Д. Микробиологическая и ферментативная активность нефтезагрязненных почв урбанизированных территорий / И. Д. Феоктистова, О. Н. Сахно // Экология речных бассейнов : тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2005. – С. 516.
6. Feoktistova, Irina. Urban soils technogenic pollution in the petrol station affecting areas. 4th International Conference on Soils Urban Industrial, Traffic and Mining Areas. – Nanjing. China, 2007. – С. 183.
7. Феоктистова, И. Д. Оценка загрязнения почв урбанизированных территорий нефтепродуктами (на примере г. Владимира) / И. Д. Феоктистова // Экология речных бассейнов : тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2009. – С. 280. – ISBN 978-5-93907-039-3.
8. Феоктистова, И. Д. Оценка активной кислотности почв городских ландшафтов (на примере г. Владимира) / И. Д. Феоктистова // Экология региона: тр. III Юбилейной междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2010. – С. 79.
9. Феоктистова, И. Д. Ферментативная активность как один из показателей диагностического мониторинга загрязнения почв урбололандшафтов / И. Д. Феоктистова // Экология речных бассейнов : тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2011. – С. 190. – ISBN 978-5-93907-063-8.