

МАКАРОВ АРТЁМ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОПЫТ ОЦЕНКИ РИСКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ГОРОДСКИХ ПОЧВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА**

Специальности: 03.02.13 – почвоведение
03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**



Москва – 2017

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

Научный руководитель: Доктор биологических наук,
профессор **О.А. Макаров**

Официальные оппоненты: **Владимир Александрович Черников**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», профессор кафедры экологии

Ольга Александровна Савватеева, кандидат биологических наук, доцент, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна», и. о. декана факультета естественных и инженерных наук

Ведущее учреждение: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук (г. Пущино)

Защита состоится 16.05.2017 в 15.30 в аудитории на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ имени М.В. Ломоносова на факультете почвоведения по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, ф-т Почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» и на сайтах <http://soil.msu.ru/nauka/uchenyj-sovet>, http://istina.msu.ru/profile/makarov_aa/

Автореферат разослан «__»_____2017 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета или присылать отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 12, МГУ им. М.В. Ломоносова, ф-т Почвоведения, Ученый совет. Факс (495) 939-29-47

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук

А.С. Никифорова

Актуальность проблемы.

Одной из важнейших задач, стоящих перед прикладным почвоведением, является прогноз состояния почвенного покрова техногенных территорий в ближне- (0-5 лет) и среднесрочной (5-10 лет) перспективах. Особенно важна корректная оценка вероятного загрязнения почв токсическими веществами при определенном уровне техногенной нагрузки. Для подобной оценки почвоведцами разработаны представления об устойчивости и буферности (как об одном из механизмов устойчивости) почв к воздействию загрязняющих веществ различной природы (Глазовская, 1976, 1981, 1988, 1992; Мотузова, 2000 и др.), об экологическом нормировании воздействия и нагрузки на почвенный покров (Воробейчик, Садыков, Фарафонов, 1994; Макаров, 2002; Яковлев, Макаров, 2006; Яковлев, Евдокимова, 2011).

В тоже время, существенно вероятностный характер оценки будущего загрязнения почв (или его отсутствия), «заставляет» специалистов обращаться к методологии, используемой в науке о рисках – рискологии (Башкин, 2007), одним из важнейших разделов которой является учение об экологическом риске, понимаемом в соответствии со ст.1 Федерального закона РФ от 10.01.02 от №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» как «...вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера» (Закон Российской Федерации об охране окружающей среды №7-ФЗ от 10 января 2002 г.). Вполне очевидно, что определение риска от химического загрязнения почв как «нежелательные для человека и почв последствия антропогенной деятельности, которые могут произойти с определенной долей вероятности» (Овчинникова, 2003) в значительной степени базируется на указанном выше представлении об экологическом риске. Кроме того, риск загрязнения почв чаще всего рассматривается при существующем уровне техногенной нагрузки (Nilsson, 1986; Савватеева, 2005; Макаров, Редько, Гучок, 2011) без учета возникновения аварийных ситуаций и катастроф природного и/или техногенного характера (Легасов, Демин, Шевелев, 1984; Кофф, Гусев, Воробьев, Козьменко, 1997; Шахраманьян, 2000; Осипов, Дымов, Зилинг и др., 2001; Башкин, 2007; Яковлев, Евдокимова, 2011).

Основным методическим приемом, используемым в работах по оценке риска загрязнения почв, является сопоставление реальной нагрузки загрязняющих веществ на территорию с нагрузкой критической этих же веществ на ту же территорию. Однако указанный подход, как правило, сопряжен с использованием трудоемких балансовых расчетов (оценка потоков поступления, выноса и количеств аккумулярованных загрязнителей в почвах) – Т.Н. Лубкова (2007). Кроме того, не столь однозначным является и точное определение величины критической нагрузки на конкретную почву (Овчинникова, 2003).

Пока крайне немногочисленными являются попытки оценить экологический риск вообще и риск загрязнения почв, в частности, при помощи эколого-экономических методов. Так, для количественной оценки экологического риска была предложена формула (1) – В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова (2005):

$$R=P \times Y \quad (1),$$

где **R** – величина экологического риска, руб.;

P – вероятность неблагоприятного события (например, загрязнения почв), безразмерная величина, принимающая значения от 0 до 1.0;

Y – ожидаемый ущерб в результате неблагоприятного события, руб.

Таким образом, с методической точки зрения существует возможность оценки риска загрязнения почв как вероятного ущерба, наносимого им. Особенно интересны такие исследования для быстро меняющихся городских почв, подверженных интенсивной, постоянно действующей техногенной нагрузке и подсыпке «свежего» материала почвогрунтов.

Цель настоящей работы: провести оценку риска загрязнения почв участков, расположенных в непосредственной близости от промышленных предприятий города и/или автомобильных и железнодорожных магистралей Москвы и Московской области (г. Подольск), с использованием эколого-экономических подходов.

Задачи:

1. Провести анализ отечественных и зарубежных исследований, законодательных и нормативно-методических документов в области оценки экологических рисков.

2. Изучить физические, физико-химические и химические свойства почв участков, расположенных в функциональной зоне производственного назначения и территории транспортной инфраструктуры города Москвы и города Подольска Московской области.

3. Оценить уровень загрязнения изучаемых городских почв тяжелыми металлами 1-го и 2-го классов опасности (Pb, Cd, Zn, Cu).

4. Провести прогнозирование химического загрязнения изучаемых почв тяжелыми металлами на основе расчетных моделей и балансовых подходов, в том числе – результатов оценки пылевой нагрузки на территории участков города Москвы и города Подольска.

5. Рассчитать величины степени выраженности экологического риска (СВЭР), фактического, вероятного и максимального ущерба загрязнения изучаемых городских почв тяжелыми металлами.

6. Провести сравнительный анализ балансового и эколого-экономического методов оценки риска загрязнения почв.

Научная новизна. Впервые предложен эколого-экономический подход к оценке риска загрязнения почв, где важнейшим показателем указанного риска выступает величина вероятного ущерба, определяемого как произведение максимально возможного ущерба, который только может быть нанесен почвам в результате их химического загрязнения, и вероятности ухудшения качества почв, которая выводится экспертным путем из величины СВЭР.

Разработана шкала ранжирования для показателя риска, отражающего отношение фактического ущерба к вероятному ущербу. При проведении ранжирования использовались – а) экспертная оценка возможности и времени сближения значений этих двух видов ущерба и б) существующий опыт нормирования индивидуальных и комплексных показателей качества почв.

Установлено существенное различие между результатами прогноза загрязнения почв городских участков, полученными балансовым и эколого-экономическим методами. Указанное различие обусловлено недоучетом в примененном балансовом методе таких факторов поступления тяжелых металлов в городские почвы, как хозяйственная деятельность по благоустройству территорий, обработка объектов автомобильного и железнодорожного транспорта противогололедными материалами и т.д.

В соответствии с результатами исследований сформулированы следующие **защищаемые положения:**

1. В почвах участков, расположенных в непосредственной близости от промышленных предприятий города и/или автомобильных и железнодорожных магистралей Москвы и Московской области (г. Подольск), отмечается накопление тяжелых металлов 1-го и 2-го классов опасности по сравнению с нормативными показателями их фоновое и предельно допустимого содержания. Прогноз дальнейшего загрязнения почв существенно изменяется при применении различных методов – балансового или эколого-экономического.
2. Понимание экологического риска как произведения вероятности неблагоприятного события и ожидаемого ущерба в результате этого события позволяет подойти к определению риска загрязнения городских почв локальных участков г. Подольска и г. Москвы как к эколого-экономической оценке этих территорий.

Практическая значимость.

Разработанные системы рекультивации почвенного покрова на всех изучаемых участках города Москвы и города Подольска могут быть предложены Природоохранным ведомствам этих городов для разработки принципов рационального природопользования на техногенных городских территориях, в том числе, – уменьшения интенсивности геохимических потоков загрязняющих веществ из очагов загрязнения в сопредельные ландшафты.

Рассчитанные величины ущерба/вреда от загрязнения почв локальных участков Московского региона могут использоваться в ходе реализации Программы по инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба, проводимой Федеральной службой по надзору в сфере природопользования.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на «XXII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов»» (Москва, 2015), 7-м Конгрессе Европейского Общества Охраны Почв «Агроэкологическая оценка и эколого-функциональная оптимизация почв и наземных экосистем» (Москва, 2015), Международной конференции Megacities 2050: environmental consequences of urbanization in Europe (Мегаполисы 2050: экологические последствия европейской урбанизации) (Москва, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 5 в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, включающего 120 отечественных и 16 зарубежных работ. Содержательная часть диссертации изложена на 140 страницах, иллюстрирована 29 рисунками, 31 таблицей.

Благодарности. Выражаю глубокую признательность и благодарность научному руководителю д.б.н., профессору Макарову О.А. за неоценимую помощь в подготовке данной работы, ценные советы и поддержку. Искренне признателен д.б.н., профессору Яковлеву А.С. за проявленный интерес к работе и высококвалифицированные консультации.

Благодарен всем сотрудникам кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ за ценные научные консультации, замечания и советы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Современные подходы к оценке экологического риска.

Традиционно, оценка экологического риска применяется в тех случаях, когда невозможно дать однозначный ответ о техногенном воздействии на состояние окружающей природной среды и здоровье человека.

Методологически выделяются два основных подхода к оценке экологического риска:

1. оценка риска как вероятность возникновения аварийных ситуаций и даже катастроф природного и/или техногенного характера (Легасов, 1984; Осипов, 1991; Кофф, 1997; Шахраманьян, 2000; Башкин, 2007; McCormick, 1981);
2. оценка риска как прогноз изменения экологической обстановки при существующем уровне техногенной нагрузки (Овчинникова, 2003а; Савватеева, 2005; Nilsson, 1986).

Второй подход представляется наиболее перспективным с точки зрения разработки общепринятого алгоритма расчета экологического риска как для окружающей среды в целом, так и для отдельных ее компонентов в частности, так как здесь подразумевается использование уже отработанных схем оценки и нормирования как состояния окружающей среды, так и нагрузки на нее (Бельгебаев, 1970; Федоров, 1976; Полуэктов, 1981; Виноградов, 1993, 1998; Гродзинский, 1988; Свирежев, 1987; Светлосанов, 1990; Воробейчик и др. 1994; Макаров, 2002; Воробейчик, 2004; Глазунов, Гендугов, 2010; Rees, 1988; Sadler, 1996 и др.).

Основной методический прием, используемый в работах по оценке риска загрязнения почв, – сопоставление реальной нагрузки загрязняющих веществ на территорию с нагрузкой критической этих же веществ на ту же территорию.

Так, в работах И.Н. Овчинниковой (2003а; 2003б; 2003в) для оценки риска загрязнения, с позиций опасности для почвы как компонента экосистемы или ландшафта, показатель общей химической нагрузки на почвенный покров территории необходимо сопоставить с величинами критических нагрузок комплекса загрязняющих веществ (тяжелых металлов, органических веществ, соединений азота и серы и т.д.). При этом нагрузку рассматривают и как потоковую величину (количество загрязняющих веществ, воздействующих на единицу площади почвы в единицу времени – (Воробейчик, Садыков, Фарафонов, 1994)), и как концентрацию в ней загрязнителей (Van De Meent, D., 1988). А в качестве критериев определения величины критической нагрузки (экологической нормы воздействия) используют точки перегиба на кривых зависимостей «доза – биотический отклик» (Воробейчик, Садыков, Фарафонов, 1994) и количество загрязняющих веществ в почве, при котором его концентрация в сельскохозяйственных растениях, грунтовых водах и атмосферном воздухе не превышает ПДК соответственно для пищевых продуктов, воды водоемов и атмосферы (Методические указания..., 1987; Мотузова, 2000).

Фактически, здесь оценивается устойчивость почвы к конкретному химическому загрязнению. Кроме того, количественно выраженная величина устойчивости почвы к тому или иному загрязнителю (Бакоев, 2012; Глазовская, 1992; Минкина, Пинский, Самохин, Статовой, 2005) также может отражать риск химического загрязнения почв. Эта величина обратно пропорциональна риску.

О.А. Савватеевой (2005) для расчета степени выраженности экологического риска (СВЭР) для отдельных природных компонентов и экосистемы в целом были разработаны следующие пять градаций (уровней) состояния окружающей природной среды, означающие принципиально различные по глубине и необратимости

нарушения экосистем, и соответственно, подразумевающие принципиально разные комплексы природоохранных мероприятий:

1. очень слабая степень выраженности экологического риска – окружающая природная среда полностью обеспечивает функционирование и саморегулирование экологических систем;

2. слабая степень выраженности экологического риска – окружающая природная среда устойчива к разрушающим воздействиям и обладает способностью к самовосстановлению за счет естественных процессов саморегуляции;

3. средняя степень выраженности экологического риска – окружающая природная среда неустойчива к разрушающим воздействиям, но иногда способна к самовосстановлению при условии снятия разрушающей нагрузки;

4. чрезвычайная степень выраженности экологического риска – потеря способности к самовосстановлению, восстановление окружающей природной среды возможно только при применении специальных (в том числе, рекультивационных) мероприятий;

5. катастрофическая степень выраженности экологического риска – необратимая потеря возможности восстановления окружающей природной среды даже при проведении восстановительных мероприятий.

Из описанных выше подходов к оценке экологического риска следует, что для его оценки важны не только частота (или вероятность) ее появления, но и тяжесть последствий для индивидуума, общества или окружающей среды.

2. Объекты и методы исследования

На территории города Москвы и города Подольска Московской области изучены почвы шести участков, расположенных в функциональной зоне производственного назначения и территории транспортной инфраструктуры (табл. 1). Таким образом, все исследуемые участки испытывают техногенную нагрузку достаточно высокого уровня в силу своего функционального назначения.

Участки на территории города Подольска («Подольск-1», «Подольск-2» и «Подольск-3») и Западного административного округа города Москвы («Крылатское», «Очаково», «Филевский парк») представляли собой достаточно окультуренные территории: общее проективное покрытие травянистых растений составляло в среднем 70-95%. Объекты испытывают техногенную нагрузку различного характера: «Подольск-1» – воздействие автотранспорта и атмосферных выбросов ОАО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск», «Подольск-2» – автотранспорта, «Подольск-3» – железнодорожного транспорта, «Крылатское», атмосферных выбросов теплостанции «Крылатское» ОАО «МОЭК» и автотранспорта, «Очаково» – атмосферных выбросов теплоэлектроцентрали (ТЭЦ-25 ОАО «Мосэнерго») и автотранспорта, «Филевский парк» – атмосферных выбросов ФГУП «ГКНПЦ имени М. В. Хруничева» и автотранспорта. Кроме того, участки в той или иной степени захламливаются ТБО и остатками строительного мусора.

Почвенные пробы отбирали в августе-сентябре 2013 г. из верхнего слоя 0-10 см, растительную подстилку в анализ не включали («Методические рекомендации...», 1996). Пробоотбор почв на территории каждого участка проводился по следующей схеме: намечалось два профиля на расстоянии 50 м друг от друга. На каждом профиле через 25 м закладывались площадки 1 м x 1 м, на которой почвенным буром голландской фирмы EIJKELKAMP по методу «конверта» отбиралось 5 индивидуальных проб одинакового объема, после чего они перемешивались, и

готовилась одна смешанная проба почвы. Таким образом, каждый участок разбивался на 10 ячеек квадратной формы 25 м x 25 м; общая площадь участка - 6250 м² (рис. 1).

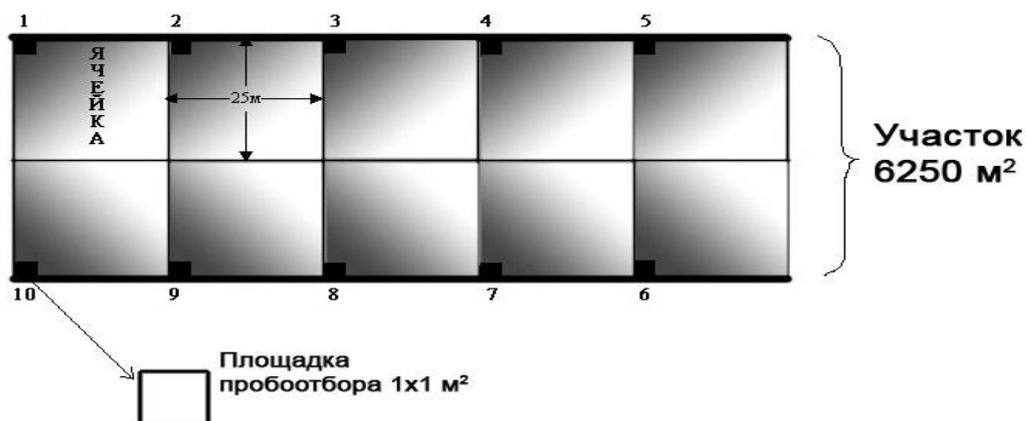


Рис. 1. Схема пробоотбора почв

Табл. 1. Почвы исследуемых локальных участков города Москвы и города Подольска.

Объект	Название почвы	Строение профиля
"Подольск-1"	Индустризем тяжелосуглинистый на техногенных отложениях	A1 – U – U1 – U2
"Подольск-2"	Собственно урбанозем супесчаный на легкосуглинистой техногенно-преобразованной породе	Ad – U1 – U2 – U3
"Подольск-3"	Урбанозем среднесуглинистый на техногенных отложениях	A (u) – AB (U) – U1 – BC (U2)
"Крылатское"	Собственно урбанозем тяжелосуглинистый на техногенных отложениях	Ud – U1 – U2
"Очаково"	Индустризем тяжелосуглинистый на техногенных отложениях	A1 – U – U1 – U2
"Филевский бульвар"	Урбо-глубокодерново-подзолистая легкосуглинистая на флювиогляциальных отложениях	Ad – A1 – A2B – B1 – B2 – BC

Кроме того, в феврале 2015 г. на исследуемых территориях проводился отбор проб снега. Пробоотбор проводился по центральной линии вдоль исследуемого участка. На намеченном профиле через каждые 40 м закладывались площадки 1 м x 1 м, на которых пробы отбирались снегоотборниками с диаметром 10,3 см на всю мощность снежного покрова, при этом отмечалось количество частных проб на одной площадке и высота керна. Таким образом, для каждого участка было выделено по 3 пробные площадки. Масса каждой смешанной пробы снега была не менее 1 кг (чтобы получить массу выпадений, достаточную для проведения анализа на содержание металлов). Знание даты отбора снега и даты установления устойчивого снежного покрова (снегостава) позволило определить время, за которое накопились в снегу атмосферные выпадения.

В лабораторных условиях по общепринятым методикам были определены следующие свойства почв: рН водной суспензии и рН солевой суспензии (потенциометрически стеклянным электродом), валовое содержание гумуса (спектрофотометрическим методом определения углерода органических соединений по Тюрину в модификации Никитина), содержание подвижного фосфора – спектрофотометрическим методом в вытяжке по Кирсанову, и содержание обменного калия в этой же вытяжке – методом эмиссионной фотометрии пламени; плотность сложения поверхностных горизонтов почв (Аринушкина, 1970; Орлов, Гришина, 1981; «Практикум по агрохимии», 2001; Вадюнина, Корчагина, 1986).

Кроме того, все образцы почв и твердого остатка (осадка) снега были проанализированы в аккредитованной лаборатории на валовое содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) с разложением проб в присутствии смеси хлористоводородной и азотной кислот соотношении 1:3 («царская водка») в микроволновой печи Milestone Ethos D. Определение проводилось на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent ICP-MS 7500 (ФР.1.29.2006.02149). В снеговой воде (фильтрате) проводилось определение растворенных форм этих же металлов (Лубкова, 2015).

Статистическая обработка результатов проводилась в программе MS Excel 2010.

3. Физические, физико-химические и химические свойства почв участков, расположенных в функциональной зоне производственного назначения и территории транспортной инфраструктуры города Москвы и города Подольска Московской области.

3.1. Физические свойства почв.

3.1.1. Плотность почв.

Результаты измерения плотности верхнего слоя (0-10 см) почв свидетельствуют о том, что практически их переуплотнение отсутствует (переуплотненными считаются почвы, плотность сложения которых выше $1,2 \text{ г/см}^3$) (Смагин, Шоба, Макаров, 2008). К слабо- и среднеуплотненным относятся почвы участков «Подольск-1», «Очаково» и «Филевский парк» (табл. 2).

Табл.2. Статистические характеристики плотности почв исследуемых объектов

Характеристика	«Подольск-1»	«Подольск-2»	«Подольск-3»	«Крылатское»	«Очаково»	«Филевский парк»
Объем выборки	6	6	6	6	6	6
Минимальное значение, г/см^3	0,93	0,77	0,84	0,97	1,39	1,07
Максимальное значение, г/см^3	1,91	1,44	1,36	1,40	1,78	1,61
Среднее арифметическое значение, г/см^3	1,28	1,10	1,11	1,21	1,54	1,36
Стандартное отклонение, г/см^3	0,33	0,30	0,19	0,16	0,14	0,20
Ошибка среднего, г/см^3	0,14	0,12	0,08	0,06	0,06	0,08
Дисперсия, $\text{г}^2/\text{см}^6$	0,11	0,09	0,03	0,03	0,02	0,04
Медиана, г/см^3	1,18	1,11	1,15	1,23	1,52	1,36

3.2. Общие физико-химические и химические свойства почв.

Результаты статистического анализа показателей физико-химических и химических свойств почв локальных участков приведены в табл. 4.

3.2.1. Актуальная и обменная кислотность почв.

Для почв исследуемых объектов была установлена, в основном, нейтральная и слабощелочная реакция среды (на территориях «Подольск-2», «Крылатское» обнаружено несколько пробных площадок со слабокислой реакцией), что является достаточно характерным для городских территорий (Герасимова, Строганова, Можарова и др., 2003).

Известно, что нейтральная и даже щелочная реакция среды характерны для городских почв, подверженных аэрогенному влиянию строительных материалов (цемент, известь, алебастр), противогололедных материалов, золы и т.д. Существенного изменения значения актуальной и обменной кислотности почв, расположенных на различных объектах города Москвы и города Подольска между собой не обнаруживается.

3.2.2. Содержание органического углерода.

В целом содержание $C_{орг}$ в почвах исследуемых объектов невелико, существенно ниже нормативных показателей почвогрунтов, применяемых при проведении работ по благоустройству города Москвы (4-15%), и варьирует на территории участков в городе Подольске в пределах от 2,39% до 3,34%, а на территории участков в городе Москве – от 2,60% до 2,92%.

3.2.3. Содержание подвижного (обменного) калия.

Обеспеченность подвижным калием почв для всех исследуемых объектов соответствует градации «очень высокая» (>25 мг/100г) (Макаров, 2005), при этом среднее значение содержания обменного калия варьирует в пределах от 97,86 мг/100г до 185,30 мг/100г. В целом, высокая концентрация калия может быть связана с применением калий-содержащих противогололедных средств («Нордикс-П», «Нордвей» и др.) на территориях, находящихся в непосредственной близости от исследуемых участков.

3.2.4. Содержание подвижного фосфора.

В целом, почвы исследуемых объектов характеризуются очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором (минимальное значение 34,34 мг/100г для участка «Подольск-2» и максимальное значение 142,03 мг/100г для «Крылатское»). Присутствие значительных концентраций фосфора в почвах может быть связано с промышленным загрязнением, воздействием бытового мусора и другими причинами.

Недостаток доступного для питания растений фосфора является негативным фактором, угнетающим развитие растительности, однако, очень высокий уровень фосфора в почвах превращает его из элемента питания для растений в элемент-токсикант.

3.3. Содержание загрязняющих веществ (тяжелых металлов) в почвах.

Результаты измерения содержания загрязняющих веществ в почвах участков сопоставлялись с санитарно-гигиеническими (ПДК) и экологическими (уровни загрязнения) нормативами (табл. 3).

Табл. 3. Показатели уровня загрязнения почв

Элемент, соединение	ПДК, мг/кг	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
		1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
Кадмий	0,5	< 0,5	от 0,5 до 3	от 3 до 5	от 5 до 20	> 20
Свинец	32	< 32	от 32 до 125	от 125 до 250	от 250 до 600	> 600
Цинк	55	< 55	от 55 до 500	от 500 до 1500	от 1500 до 3000	> 3000
Медь	33	< 33	от 33 до 200	от 200 до 300	от 300 до 500	> 500

В почвах локальных участков города Подольска выявляются повышенные (более ПДК) концентрации тяжелых металлов – меди, свинца и цинка (рис. 2а, б, в, г). Содержание кадмия во всех почвенных пробах оказалось существенно ниже санитарно-гигиенического норматива. При этом самые значительные загрязнения – 4-

й (высокий) и 3-й (средний) – были обнаружены для свинца и меди для участков «Подольск-2» и «Подольск-3». Средние величины содержания тяжелых металлов в почвах соответствуют 1-му (допустимому) уровню загрязнения для кадмия, 2-му (низкому) уровню загрязнения для меди, свинца и цинка (рис. 3).

Определение концентрации тяжелых металлов в почвах участков на территории города Москвы выявило более высокое содержание меди, цинка и кадмия по сравнению с участками города Подольска (рис. 2 а, б, в, г). Значительные загрязнения – 5-й (очень высокий) и 3-й (средний) – были определены для меди, цинка, кадмия и свинца. Средние величины содержания тяжелых металлов в почвах соответствуют 1-му (допустимому) и 2-му (низкому) для меди, цинка, свинца и кадмия на участках «Крылатское» и «Очаково». Для участка «Филевский парк» средние величины содержания меди, цинка, свинца и кадмия соответствуют 2-му (низкому) уровню загрязнения почв.

Обращает на себя внимание значительное варьирование содержания токсикантов в пределах одного участка, что следует признать достаточно характерным признаком городских почв, подверженных различным видам антропогенного воздействия (аэрогенное загрязнение, формирование почвенного тела с использованием загрязненных почвогрунтов и грунтов и т.д.) и отличающихся контрастностью техногенных свойств (Смагин, Шоба, Макаров, 2008).

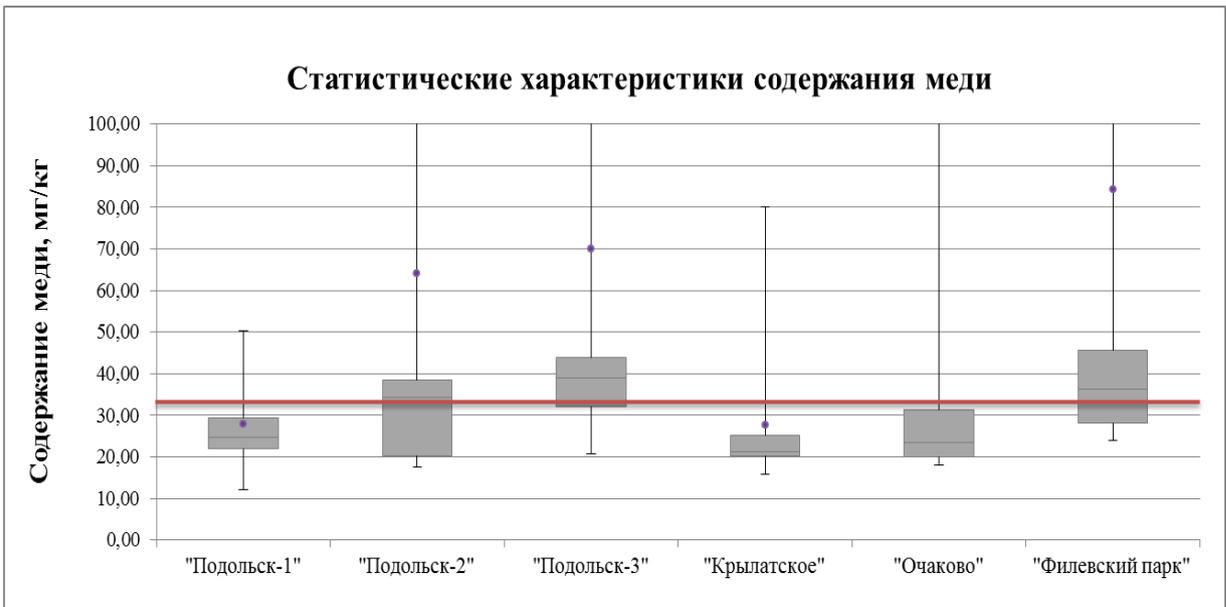
Так, содержание меди в почвах локального участка «Очаково» варьирует от 18,00 мг/кг (что практически в 2 раза ниже ПДК и соответствует допустимому уровню загрязнения) до 4174,95 мг/кг (очень высокий уровень загрязнения).

Сравнение загрязненности почв различных участков между собой свидетельствует о несколько более благоприятной экологической обстановке на участках «Подольск-1» и «Крылатское»: здесь относительно незначительные превышения ПДК, рассчитанные по средним показателям, отмечаются для 2-х из 4-х исследуемых тяжелых металлов.

Табл. 4. Статистические характеристики показателей физико-химических и химических свойств в почвах исследуемых участков.

Характеристика	pH _{водн}	pH _{KCl}	K ₂ O, мг/100г почвы	P ₂ O ₅ , мг/100г почвы	Сорг, %
«Подольск-1»					
Объем выборки	10				
среднее	7,63	—*	97,86	35,00	2,39
стандартное откл.	0,42	—	36,79	29,09	0,30
ошибка среднего	0,13	—	11,63	9,20	0,09
дисперсия	0,18	—	1353,65	846,18	0,09
медиана	7,65	—	94,43	27,82	2,35
«Подольск-2»					
Объем выборки	10				
среднее	7,11	—	185,33	34,34	3,34
стандартное откл.	0,70	—	54,22	20,70	0,41
ошибка среднего	0,22	—	17,15	6,54	0,13
дисперсия	0,49	—	2939,59	428,29	0,17
медиана	7,13	—	193,28	30,11	3,28
«Подольск-3»					
Объем выборки	10				
среднее	7,55	—	180,49	49,53	2,80
стандартное откл.	0,27	—	45,54	12,04	0,41
ошибка среднего	0,09	—	14,40	3,81	0,13
дисперсия	0,07	—	2073,69	145,01	0,17
медиана	7,59	—	166,48	45,71	2,70
«Крылатское»					
Объем выборки	10				
среднее	6,83	6,27	172,31	142,03	2,92
стандартное откл.	0,48	0,50	41,91	57,78	0,68
ошибка среднего	0,15	0,16	13,25	18,27	0,22
дисперсия	0,23	0,25	1756,60	3338,80	0,47
медиана	6,73	6,41	172,05	145,25	5,60
«Очаково»					
Объем выборки	10				
среднее	7,77	—	168,85	73,29	2,98
стандартное откл.	0,16	—	56,14	28,15	0,63
ошибка среднего	0,05	—	17,75	8,90	0,20
дисперсия	0,03	—	3152,22	792,61	0,40
медиана	7,77	—	188,7	78,48	2,90
«Филевский парк»					
Объем выборки	10				
среднее	7,74	—	139,06	94,75	2,60
стандартное откл.	0,32	—	70,43	42,17	0,63
ошибка среднего	0,10	—	22,27	13,33	0,20
дисперсия	0,10	—	4959,96	1778,06	0,40
медиана	7,77	—	123,9	81,30	2,84

* Примечание: – определение не проводилось



а) Медь



б) Цинк



в) Кадмий



г) Свинец

Рис. 2. а), б), в), г) – содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых участков города Москвы и города Подольска.

Примечания: — значение ПДК для тяжелого металла

точкой на графике отмечено значение среднего арифметического, линия в границах коробки – медиана, нижняя и верхняя грань прямоугольника соответствует 1 и 3 квартилю, расстояние между 1 и 3 квартилем – межквартильный размах, горизонтальные планки на конце «усов» – максимальное и минимальное значение

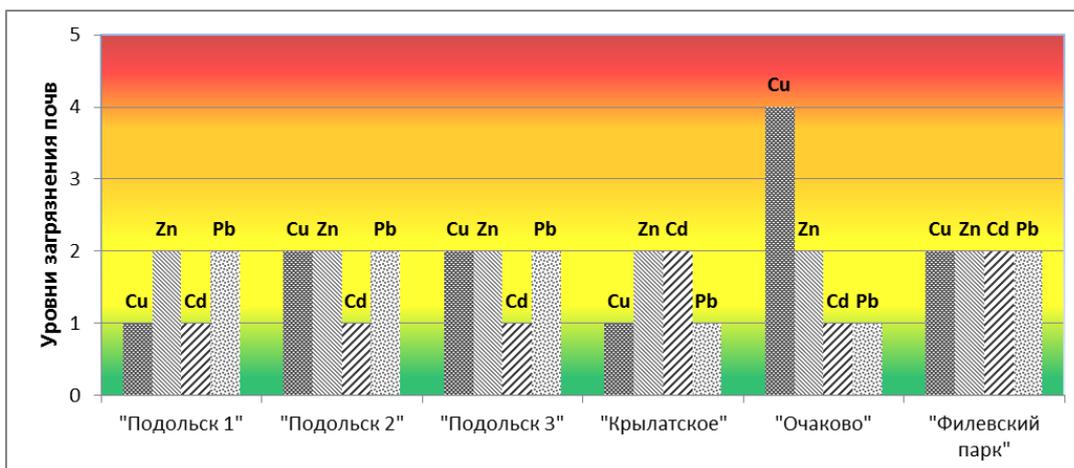


Рис. 3. Уровни загрязнения почв, рассчитанные по средним значениям содержания тяжелых металлов («Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель», 1996)

4. Прогноз загрязнения почв участков тяжелыми металлами при помощи балансового подхода

4.1. Структура балансовой модели загрязнения почв тяжелыми металлами.

В оценке и прогнозировании загрязнения локальных экосистем химическими элементами возможно применение балансовой модели, позволяющей описать динамику отдельных геохимических показателей в некотором объеме природной среды, определяя связь между скоростями изменения миграционных потоков в пространстве и скоростями изменения состояния системы во времени (Кошелева, 1997).

Стандартным способом оценки количества загрязнителей, поступивших с атмосферными выпадениями, является обработка данных снеговой съемки, позволяющая рассчитать интенсивности выпадений загрязняющих веществ (Василенко, Назаров, Фридман, 1985; Viskari, Rekilä, Roy S etc., 1997).

В основе проводимых расчетов лежат представления о структурной балансовой модели в ландшафте (рис. 4).

4.2. Результаты исследований снегового покрова.

Результаты определения взвешенных и растворенных форм тяжелых металлов в исследуемых пробах снега приведены в таблицах 5 и 6 соответственно.

4.3. Прогноз загрязнения почв тяжелыми металлами.

Расчеты запасов тяжелых металлов в почвах, основанные на оценке пылевых выпадений, характеризуют аккумуляцию загрязнителей в верхнем горизонте почв, непосредственно контактирующем с приземным слоем атмосферы.

Изменение запасов тяжелых металлов в почвах ΔQ_{TM} (в почвенном объеме $V=S \times h$), измеряется в z , определяется формулой (2):

$$\Delta Q_{TM} = (1-f^{BЗВ}) \cdot (Q^{BЗВ}_{TM} - C_{\phi} \cdot Q^{\Pi}) + (1-f^P) \cdot Q^P_{TM} \quad (2),$$

где $Q^{BЗВ}_{TM}$ – поступление тяжелых металлов с пылевыми выпадениями количеством Q^{Π} на площадь почв, мг; C_{ϕ} – фоновые содержания металлов в почвах, мг/кг; Q^P_{TM} – поступление растворенных форм тяжелых металлов с выпадениями количеством Q^{Π} , кг; $f^{BЗВ}$ – безразмерный коэффициент, характеризующий потери для почв взвешенных форм металлов (при выносе с поверхностным стоком); f^P – безразмерный коэффициент, характеризующий потери для почв растворенных форм тяжелых металлов (при выносе с поверхностным и внутрипочвенным стоком).

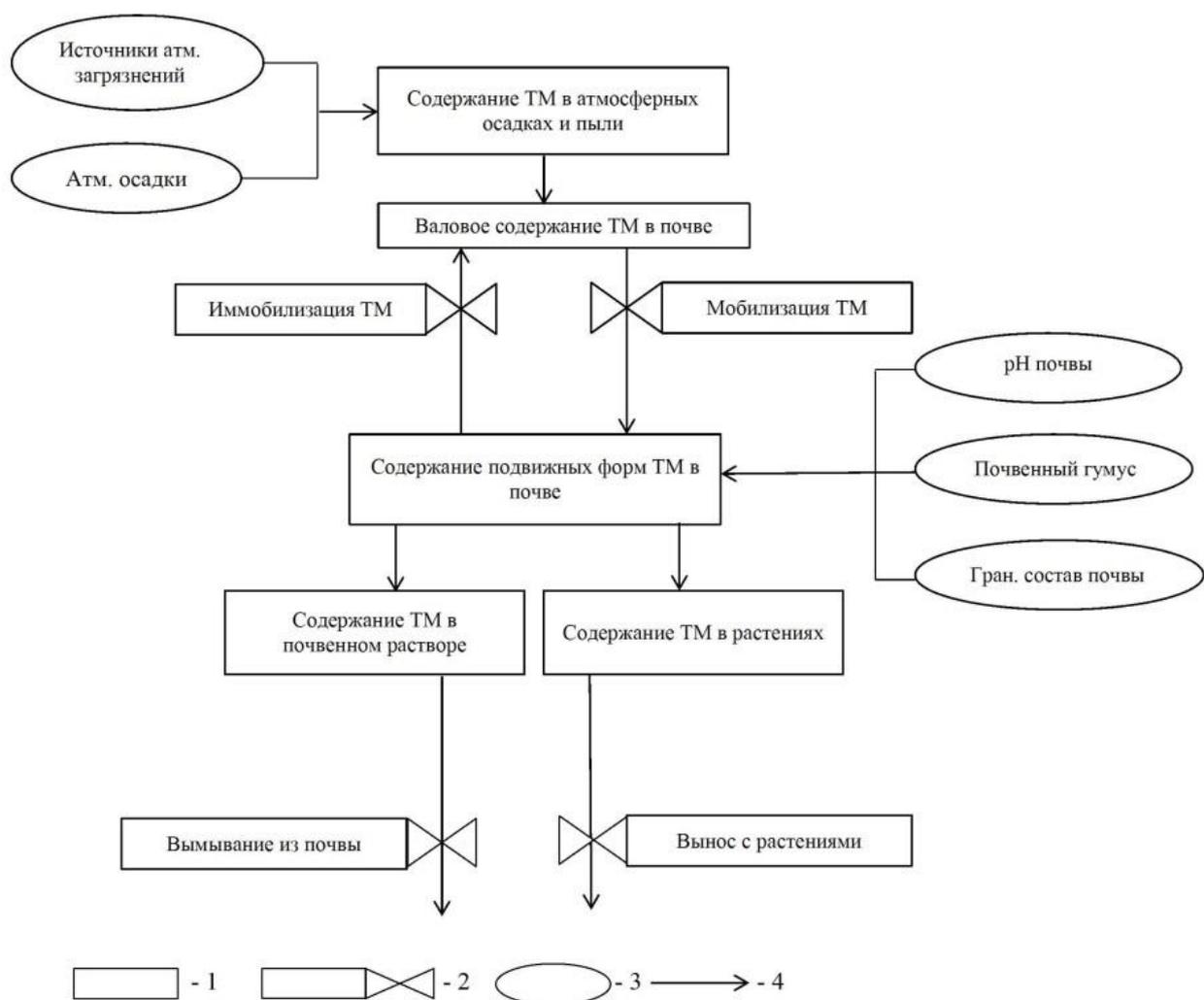


Рис. 4. Структура балансовой модели тяжелых металлов в ландшафте: 1 – переменные состояния; 2 – процессы; 3 – внешние факторы; 4 – потоки ТМ (по Кошелева, 1997 с авторскими изменениями)

Табл. 5. Содержание взвешенных форм тяжелых металлов в снеге

Объект	Масса пыли, г	Характеристика	Взвешенные формы ТМ, мг/кг			
			Cu	Zn	Cd	Pb
"Подольск-1"	0,24	Среднее, мг/кг	172,77	712,06	2,73	86,92
		min, мг/кг	33,40	52,76	0,16	7,95
		max, мг/кг	259,91	1098,50	6,27	129,25
"Подольск-2"	0,05	Среднее, мг/кг	846,66	2715,49	4,28	182,35
		min, мг/кг	382,45	699,80	2,34	66,73
		max, мг/кг	1229,02	5496,04	6,39	284,17
"Подольск-3"	0,06	Среднее, мг/кг	1078,04	1825,83	6,25	217,24
		min, мг/кг	213,71	206,53	0,62	25,52
		max, мг/кг	213,71	206,53	13,16	25,52
"Крылатское"	0,25	Среднее, мг/кг	60,06	196,13	0,57	16,06
		min, мг/кг	21,97	76,54	0,27	7,26
		max, мг/кг	116,23	402,72	1,01	31,00
"Очаково"	0,39	Среднее, мг/кг	76,09	187,59	0,42	29,79
		min, мг/кг	45,99	157,10	0,33	5,36
		max, мг/кг	113,55	225,88	0,48	58,63
"Филевский бульвар"	0,36	Среднее, мг/кг	30,33	108,35	0,25	7,56
		min, мг/кг	17,69	54,35	0,15	3,56
		max, мг/кг	41,47	148,40	0,39	10,48

Табл. 6. Содержание растворенных форм тяжелых металлов в снеговой воде

Объект	Объем талой воды, л	Характеристика	Растворенные формы ТМ, мг/кг			
			Cu	Zn	Cd	Pb
"Подольск-1"	2,83	Среднее, мг/кг	0,002	0,016	0,00013	0,0001
		min, мг/кг	0,001	0,004	0,00004	< 0,0001
		max, мг/кг	0,004	0,031	0,00029	0,0002
"Подольск-2"	2,12	Среднее, мг/кг	0,005	0,046	0,00005	< 0,0001
		min, мг/кг	0,003	0,004	0,00003	< 0,0001
		max, мг/кг	0,010	0,119	0,00006	< 0,0001
"Подольск-3"	2,06	Среднее, мг/кг	0,006	0,024	0,00007	< 0,0001
		min, мг/кг	0,004	0,007	0,00005	< 0,0001
		max, мг/кг	0,007	0,039	0,00008	< 0,0001
"Крылатское"	1,72	Среднее, мг/кг	0,003	0,018	0,00011	< 0,0001
		min, мг/кг	0,002	0,005	0,00007	< 0,0001
		max, мг/кг	0,004	0,034	0,00014	0,0001
"Очаково"	1,81	Среднее, мг/кг	0,003	0,006	0,00005	< 0,0001
		min, мг/кг	0,001	0,000	0,00004	< 0,0001
		max, мг/кг	0,006	0,017	0,00006	0,0001
"Филевский бульвар"	1,49	Среднее, мг/кг	0,004	0,030	0,00006	< 0,0001
		min, мг/кг	0,003	0,027	0,00001	< 0,0001
		max, мг/кг	0,004	0,032	0,00010	< 0,0001

Расчет прогнозируемых (на конец расчетного периода n , лет) концентраций тяжелых металлов в почвах (слое мощностью h , см) может осуществляться в соответствии с формулой (3):

$$C(n) = C(0) + \frac{1}{h \cdot d} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_{TM}}{S} \quad (3),$$

где $C(n)$ и $C(0)$ – прогнозируемые и текущие концентрации тяжелых металлов в почвах ($C(0) = C_{ф}$), мг/кг; d – плотность почв, г/см³.

Среднее содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых участков и изменение их запасов представлено в таблице 7. Прогнозный расчет достижения уровней загрязнения почв (используются нижние границы диапазонов соответствующих уровней) для каждого объекта отражен в таблицах 8а, б, в, г, д, е.

Табл. 7. Среднее содержание ТМ в почвах участков города Москвы и города Подольска с ежегодным изменением запасов.

Объект	Среднее содержание ТМ, мг/кг				Изменение запасов ТМ ΔQ_{TM} , мг			
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
"Подольск-1"	27,8	118	0,27	43,6	0,73	2,76	0,012	0,34
"Подольск-2"	64,0	77,2	0,24	57,7	0,88	2,67	0,004	0,19
"Подольск-3"	70,1	130	0,41	42,4	1,58	2,46	0,008	0,30
"Крылатское"	27,5	101	0,70	18,9	0,26	0,83	0,003	0,07
"Очаково"	440	193	0,43	29,0	0,68	1,61	0,004	0,27
"Филевский бульвар"	84,4	241	0,91	52,3	0,25	0,92	0,002	0,06

Табл. 8. Прогнозный расчет достижения различных уровней загрязнения почв тяжелыми металлами для исследуемых участков города Москвы и города Подольска

а) Участок «Подольск-1»						
Тяжелые металлы	C ₀ , мг/кг	ΔQ _{ТМ} , мг	п, лет			
			2 уровень	3 уровень	4 уровень	5 уровень
Cu	27,8	0,73	25	825	1783	2262
Zn	118	2,76	-	483	1747	3644
Cd	0,27	0,012	65	772	1339	5585
Pb	43,6	0,34	-	829	2101	5663
б) Участок «Подольск-2»						
Тяжелые металлы	C ₀ , мг/кг	ΔQ _{ТМ} , мг	п, лет			
			2 уровень	3 уровень	4 уровень	5 уровень
Cu	64	0,88	-	463	1144	1484
Zn	77,2	2,67	-	476	1603	3293
Cd	0,24	0,004	178	1866	3217	13348
Pb	57,7	0,19	-	1073	3065	8642
в) Участок «Подольск-3»						
Тяжелые металлы	C ₀ , мг/кг	ΔQ _{ТМ} , мг	п, лет			
			2 уровень	3 уровень	4 уровень	5 уровень
Cu	70,1	1,58	-	252	1144	1484
Zn	130	2,46	-	460	1603	3293
Cd	0,41	0,008	33	944	3217	13348
Pb	42,4	0,3	-	833	3065	8642
г) Участок «Крылатское»						
Тяжелые металлы	C ₀ , мг/кг	ΔQ _{ТМ} , мг	п, лет			
			2 уровень	3 уровень	4 уровень	5 уровень
Cu	27,5	0,26	69	2184	4717	5984
Zn	101	0,83	-	1595	5592	11586
Cd	0,7	0,003	-	2704	5057	22704
Pb	18,9	0,07	599	4857	10578	26600
д) Участок «Очаково»						
Тяжелые металлы	C ₀ , мг/кг	ΔQ _{ТМ} , мг	п, лет			
			2 уровень	3 уровень	4 уровень	5 уровень
Cu	440	0,68	-	-	-	377
Zn	193	1,61	-	806	3428	7361
Cd	0,43	0,004	77	2815	5005	21434
Pb	29	0,27	47	1508	3470	8966
е) Участок «Филевский бульвар»						
Тяжелые металлы	C ₀ , мг/кг	ΔQ _{ТМ} , мг	п, лет			
			2 уровень	3 уровень	4 уровень	5 уровень
Cu	84,4	0,25	-	1740	4748	6253
Zn	241	0,92	-	1051	5113	11206
Cd	0,91	0,002	-	4093	8010	37393
Pb	52,3	0,06	-	4348	11818	32735

Представленные результаты прогнозных расчетов, выполненных для исследуемых участков г. Москвы и г. Подольска, показывают незначительную скорость аэрогенного накопления тяжелых металлов в почвах этих участков, что в

целом соответствует основным заключениям из аналогичных исследований, выполненных Т.Н. Лубковой (2007) для Московского региона. Тем не менее, установленные для почв исследуемых участков 2-й и 3-й уровни загрязнения тяжелыми металлами свидетельствует об их загрязнении почв не только через атмосферные выпадения от промышленных и транспортных источников, но и в результате действия других факторов – хозяйственной деятельности по обустройству территорий, обработки объектов автомобильного и железнодорожного транспорта противогололедными материалами и т.д.

5. Оценка величины степени выраженности экологического риска (СВЭР), фактического, вероятного и максимального ущерба загрязнения изучаемых городских почв тяжелыми металлами.

5.1. Определение СВЭР и вероятности дальнейшего загрязнения почв тяжелыми металлами.

О.А. Савватеевой для оценки экологического риска загрязнения почв города Дубны Московской области тяжелыми металлами и нефтепродуктами в условиях существующего уровня техногенной нагрузки был предложен показатель – степень выраженности экологического риска (СВЭР) – формула (4) (Савватеева, 2005).

$$СВЭР = П_{д} + \frac{\sum_{i=1}^n П_{дп_i}}{\sum_{i=1}^n (П_{дп_i}) + n} \quad (4),$$

где СВЭР – величина степени выраженности экологического риска отдельных компонентов и в целом окружающей природной среды; $П_{д}$ – значение доминирующего показателя (ранжированного показателя, определяющего максимальный уровень загрязнения почв); $П_{дп}$ – значение дополнительного показателя (ранжированного показателя, меньшего, чем доминирующий или равного ему по уровню загрязнения почв), n – число дополнительных показателей.

На основе сведений о загрязненности почв тяжелыми металлами по формуле (4) была рассчитана величина СВЭР почв и определена категория степени выраженности экологического риска для каждого исследуемого участка (табл. 9). Для большинства участков определена категория СВЭР «средняя», однако в ряде случаев рассчитаны высокие значения СВЭР (категория «чрезвычайная»). Это означает, что вероятность дальнейшего загрязнения почв чаще всего составляет 0,4, но может достигать до 0,7 (табл. 10).

5.2. Оценка фактического ущерба (стоимость рекультивационных работ) и максимального ущерба от загрязнения почв

В настоящих исследованиях при помощи программы SmetaWIZARD v. 4.0 была рассчитана величина ущерба, нанесенного почвам в результате их загрязнения, по стоимости их рекультивации.

При определении перечня и объема необходимых рекультивационных мероприятий были сделаны следующие допущения:

- в том случае, когда уровень загрязнения по каждому из загрязняющих веществ не превышает 2-го (низкого) проводятся - обработка почвы широко применяющимся в практике природопользования сорбентом «Глауконит» (ТУ 2164-003-45670985-05), внесение универсальных удобрений, рыхление, посев трав;

- в том случае, когда уровень загрязнения хотя бы одного тяжелого металла превышает 2-й, для данной ячейки проводятся - выемка загрязненного грунта, завоз почвогрунта «Универсальный» (соответствующего требованиям Постановления Правительства Москвы №514-ПП от 27.07.14 г.), внесение удобрений, рыхление, посев трав;
- стоимость восстановительных работ рассчитывалась только для слоя почвы 0-10 см, в котором и проводилось определение содержания загрязняющих веществ (миграция тяжелых металлов в нижележащие слои не оценивалась).

Табл. 9. Экспертная оценка вероятности ухудшения экологического качества ОПС (Оценка и экологический контроль состояния окружающей природной среды региона (на примере Тульской области), 2001; Макаров О. А, 2002)

Уровни потери качества	Потеря экологической ценности ПТК, %	Категория степени выраженности экологического риска	P - вероятность ухудшения экологического качества ОПС
I – условно нулевой	0-5	Очень слабая	0,05
II - низкий	6-20	Слабая	0,2
III - средний	21-40	Средняя	0,4
IV – высокий	41-70	Чрезвычайная	0,7
V - катастрофический	71-100	Катастрофическая	1,0

Табл. 10. Категории СВЭР, рассчитанные для исследуемых участков

Объект	Уровни загрязнения почв тяжелыми металлами				СВЭР	Категория СВЭР	Вероятность (P)
	Cu	Zn	Cd	Pb			
«Подольск-1»	1	2	1	2	1,95	Слабая	0,2
«Подольск-2»	2	2	1	2	2,28	Средняя	0,4
«Подольск-3»	2	2	1	2	2,28	Средняя	0,4
«Крылатское»	1	2	2	1	1,95	Слабая	0,2
«Очаково»	4	2	1	1	3,95	Чрезвычайная	0,7
«Филевский парк»	2	2	2	2	2,32	Средняя	0,4

Анализ результатов расчетов стоимости рекультивационных работ (фактического ущерба) на исследуемых участках выявляет значительный разброс значений: от 45 327,65 руб. для участка «Подольск-1» до 777 191,62 руб. для участка «Филевский парк» (рис. 5). Столь существенная разница в стоимости необходимых мероприятий между участками объясняется, главным образом, в различиях по содержанию тяжелых металлов в почвах

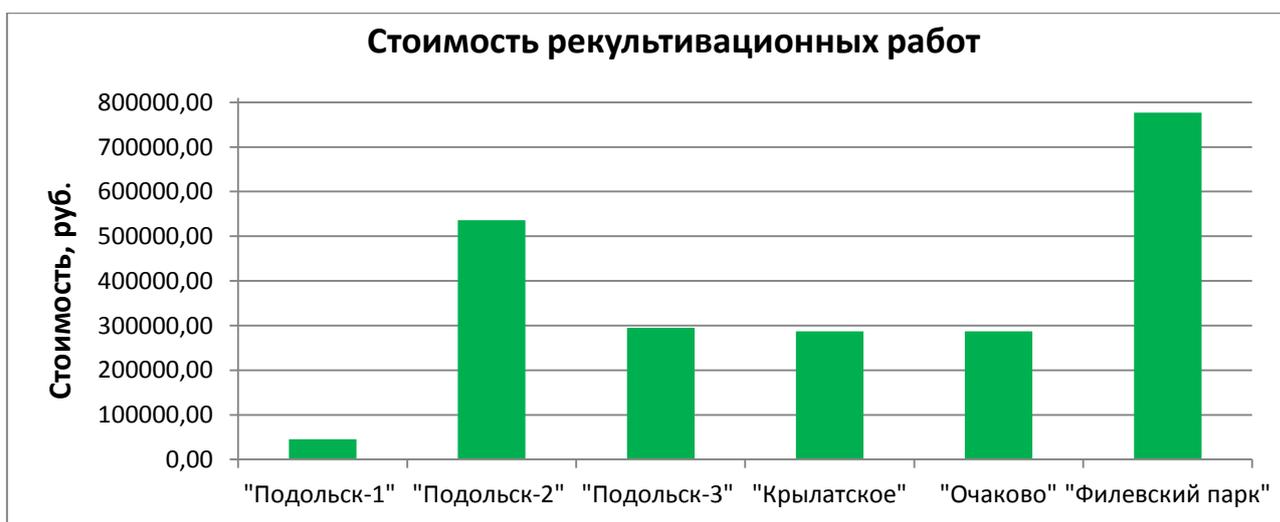


Рис. 5. Оценка стоимости рекультивационных работ (фактического ущерба) для исследуемых участков

Кроме того, был проведен расчет Y_{\max} – ущерб при воображаемом максимально возможном загрязнении почвенного покрова участков. В данном случае оценивалась стоимость рекультивационных работ по выемке загрязненного грунта, завозу почвогрунта «Универсальный», внесению удобрений, рыхлению почвы, посеву многолетних трав и проведению др. видов не для отдельных ячеек участка, где содержание тяжелых металлов превышает 2-й (низкий) уровень загрязнения, а для всего участка площадью 6250 м². Величина Y_{\max} для участков «Подольск-1», «Подольск-2», «Подольск-3» составила 2 494 528,27 руб., а для участков «Крылатское», «Очаково», «Филевский парк» - 2 473 751,54 руб. Таким образом, величина Y_{\max} существенно выше стоимости рекультивационных работ, которые необходимо провести на исследуемых городских участках, чтобы очистить их почвы от токсикантов.

5.3. Расчет вероятного ущерба как показателя риска загрязнения почв.

В данном исследовании понятие риска R определяется, как вероятность P того, что почвам в результате их загрязнения будет нанесен максимально возможный ущерб Y_{\max} (Макаров О.А., Макаров А.А, 2014):

$$R = P \times Y_{\max} \quad (5)$$

В соответствии с формулой (5) была определена величина вероятного ущерба R , который может быть нанесен почвам исследуемых участков в ближнесрочной перспективе в результате их предполагаемого загрязнения при существующем уровне техногенной нагрузки (рис. 6).

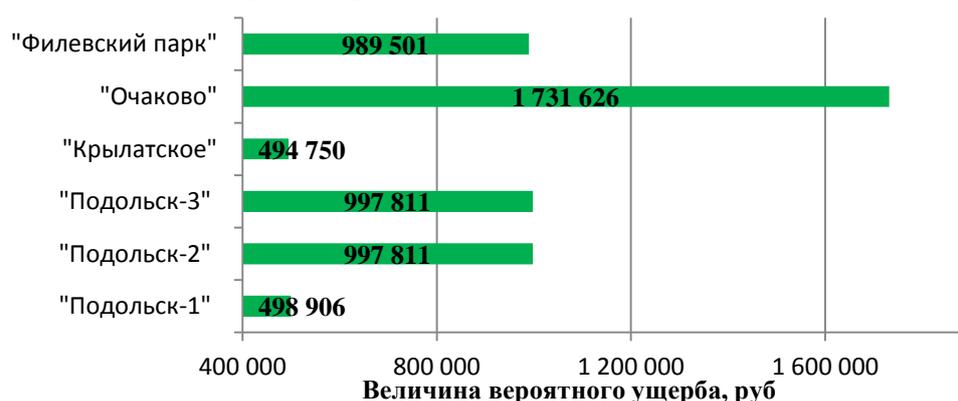


Рис. 6. Оценка вероятного ущерба R почв исследуемых участков

Во всех случаях величина фактического ущерба, нанесенного почвам загрязнением тяжелыми металлами, ниже величины вероятного ущерба, при этом наибольшие различия между ними (90,91%) были установлены для участка «Подольск-1», а наименьшие (21,46%) – для участка «Филевский парк» (рис. 7).

5.4. Разработка показателя СРВУ почв.

Было проведено ранжирование величины, характеризующей отношение фактического ущерба почв к вероятному ущербу почв (величина выражена в процентах), основанное на экспертной оценке возможности и времени сближения значений этих двух видов ущерба и существующем опыте нормирования индивидуальных и комплексных показателей качества (состояния) почв (Гендугов, Глазунов, Евдокимова, 2010). Так как при высоком уровне техногенной нагрузки величина фактического ущерба «стремится» достичь величину вероятного ущерба (а, иногда, и превысить его, вырастая до U_{max}), то соотношение между этими величинами можно определить как степень реализации вероятного ущерба (СРВУ) почв – табл. 11.

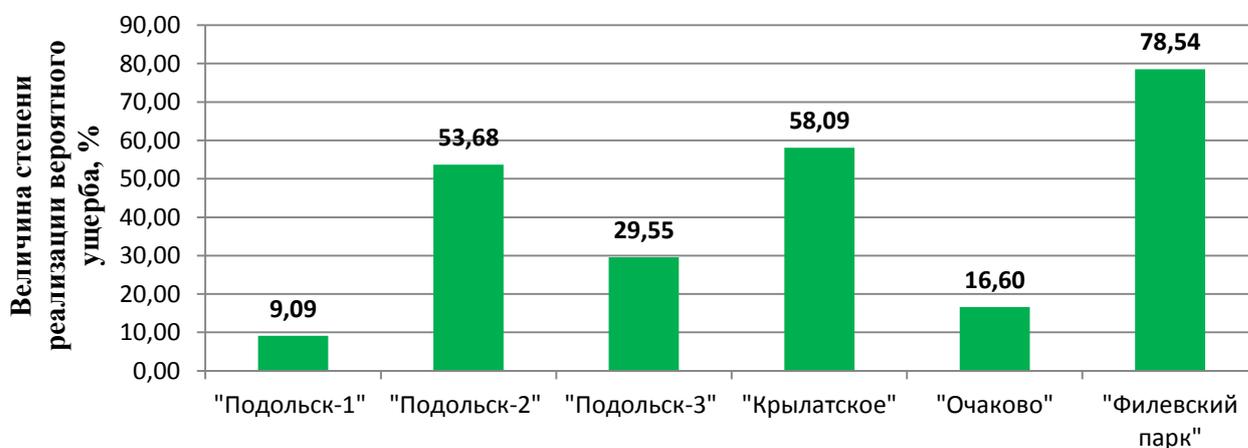


Рис. 7. Оценка соотношения фактического и вероятного ущерба загрязнения почв для исследуемых участков

Табл. 11. Экспертная оценка степени реализации вероятного ущерба загрязнения почв при существующем уровне техногенной нагрузки

Отношение фактического ущерба почв к вероятному ущербу почв, %	Степень реализации вероятного ущерба (СРВУ) почв	Характеристика ущерба, нанесенного почвам в результате их загрязнения
0-25	Очень слабая	Фактический ущерб ничтожен, в ближнесрочной (0-5 лет) и среднесрочной (5-10 лет) перспективах его величина скорее всего не достигнет величины вероятного ущерба R
26-50	Слабая	Фактический ущерб незначителен, в ближнесрочной перспективе (0-5 лет) его величина скорее всего не достигнет величины вероятного ущерба R
51-75	Средняя	Фактический ущерб существенен ближнесрочной перспективе (0-5 лет) его величина скорее всего достигнет величины вероятного ущерба R
76-99	Высокая	Фактический ущерб значителен, в ближнесрочной перспективе (0-5 лет) его величина достигнет величины вероятного ущерба R
≥ 100	Очень высокая	Фактический ущерб, нанесенный почвам, достиг вероятного ущерба R

Определение величин СРВУ почв (табл. 9) позволяет в большей степени дифференцировать исследуемые участки, чем в случае оценки величин ущерба R (рис. 8) и делает первые приоритетными в качестве показателей риска загрязнения почв.

Участок	Степень реализации вероятного ущерба почв				
	Очень слабая	Слабая	Средняя	Высокая	Очень высокая
«Подольск-1»					
«Подольск-2»					
«Подольск – 3»					
«Крылатское»					
«Очаково»					
«Филевский парк»					

Рис.8. Оценка СРВУ почв исследуемых участков

Примечание:

■ почвы участка характеризуются данной степенью реализации вероятного ущерба

6. Сравнительный анализ балансового и эколого-экономического методов оценки риска загрязнения почв.

Как известно, атмосферные выпадения от промышленности и транспорта являются одним из основных источников загрязнения почв урбанизированных территорий тяжелыми металлами (Обухов, Плеханова, 1992; Строганова, Прокофьева и др., 1998). В исследованиях, выполненных для Московского региона, было показано, что прогноз загрязнения может осуществляться на базе оценок нагрузок загрязнителей по данным снеговых съемок и ряда коэффициентов, характеризующих равномерность твердофазных выпадений в течение года, степень их аккумуляции почвами и долю от растворенных форм в выпадениях, идущую на загрязнение почв. На основе балансового подхода исследователями разработана модель и предложено уравнение, позволяющее по интенсивностям твердофазных выпадений проводить оценку и прогноз загрязнения почв тяжелыми металлами (Кошелева, 2003; Лубкова, 2007).

Применение указанного подхода для локальных городских участков, расположенных в непосредственной близости от промышленных предприятий города и/или автомобильных и железнодорожных магистралей Москвы и Московской области (г. Подольск), подтвердило невысокую скорость аэрогенного накопления тяжелых металлов в почвах этих участков. Так, увеличение содержания тяжелых металлов от фонового содержания до предельного допустимого в изучаемых почвах в соответствии с проведенным прогнозом должно было занять десятки и даже сотни лет. В тоже время в исследуемых городских почвах загрязнение уже превышает (иногда во много раз) санитарно-гигиенические нормативы. Следовательно, или уровень аэрогенного поступления тяжелых металлов ранее был существенно выше, чем сейчас, или загрязняющие вещества поступили в почвы другими путями (формировались из уже загрязненного субстрата, содержались в противогололедных материалах и т.д.). В принципе, достоверно оценить источник поступления загрязнителей в быстро меняющиеся городские почвы практически невозможно.

В этих условиях целесообразно использовать другой подход к оценке риска загрязнения почв города – эколого-экономический. Указанный подход позволяет определить фактический ущерб (стоимость работ по рекультивации загрязненного участка) и вероятный ущерб (вероятность наступления максимального возможного ущерба) от загрязнения почв. К преимуществам этого подхода следует отнести использование пятибалльной шкалы состояния почв, учитывающей обратимость понесенных нарушений (шкала СВЭР). Несмотря на свой экспертный характер, такие

шкалы получили широкое распространение в практике природопользования (Яковлев, Макаров, 2006).

ВЫВОДЫ:

1. Основным методическим приемом, используемым в работах по оценке риска загрязнения почв, является сопоставление реальной нагрузки загрязняющих веществ на территорию с критической нагрузкой этих же веществ на ту же территорию. При этом, при прогнозировании загрязнения токсическими веществами почвенного покрова в первую очередь учитываются свойства почв, обуславливающие способность последних поглощать и удерживать загрязнители (гранулометрический состав, содержание гумуса, ЕКО и др.)

2. Городские почвы исследуемых локальных участков, расположенные в функциональной зоне производственного назначения и территории транспортной инфраструктуры города Москвы и города Подольска, в целом, характеризуются нейтральной реакцией среды, содержанием органического углерода существенно ниже нормативных значений, высокой обеспеченностью доступного фосфора и повышенным содержанием подвижного (обменного) калия.

3. Установлены повышенные (более ПДК) концентрации тяжелых металлов в почвах каждого исследуемого локального участка г. Москвы и г. Подольска. Обращает на себя внимание значительное варьирование содержания токсикантов в пределах одного участка, что следует признать достаточно характерным признаком городских почв, подверженных различным видам антропогенного воздействия (аэрогенное загрязнение, формирование почвенного тела с использованием загрязненных почвогрунтов и грунтов и т.д.) и отличающихся контрастностью техногенных свойств.

4. Применение балансового метода прогнозирования показало крайне низкую степень накопления тяжелых металлов в почвах локальных участков г. Москвы и г. Подольска.

5. Для большинства исследуемых участков была определена усредненная категория степени выраженности экологического риска (СВЭР) «средняя», однако в ряде случаев рассчитаны высокие значения СВЭР (категория «чрезвычайная»).

6. Установлен значительный разброс значений стоимости рекультивационных работ (фактического ущерба) на исследуемых участках: от 45327,65 руб. для участка «Подольск-1» до 777191,62 руб. для участка «Филевский парк». Столь существенная разница в стоимости необходимых мероприятий между участками объясняется, главным образом, в различиях по содержанию тяжелых металлов в почвах

7. Степень реализации вероятного ущерба почв варьирует от «Очень слабой» для участка «Подольск-1» до «Высокой» для участка «Филевский парк».

8. Существенное различие между результатами прогноза загрязнения почв городских участков, полученными эколого-экономическим и балансовым методами, обусловлено недоучетом в последнем методе таких факторов поступления тяжелых металлов в городские почвы, как хозяйственная деятельность по благоустройству территорий, обработка объектов автомобильного и железнодорожного транспорта противогололедными материалами и т.д.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. *Макаров О.А., Макаров А.А. Оценка экологического риска загрязнения почв придорожных территорий города Москвы//Проблемы региональной экологии, 2014, №2, С. 133-139.

2. *Макаров О.А., Яковлев А.С., Прохор Р.В., Павлова А.А., Макаров А.О., Макаров А.А. Определение состояния атмосферного воздуха в пределах и за границей санитарно-защитной зоны металлургического предприятия на основе показателей состояния снежного покрова// Экология и промышленность России, 2014, №11, С. 42-47.
3. *Ковалева Е.И., Горленко А.С., Яковлев А.С., Кегиян М.Г., Макаров А.О., Макаров А.А. О возможности использования почвенных лизиметров для моделирования миграции нефти и продуктов ее трансформации// Известия Самарского научного центра РАН, 2014, Том 16, № 1 (3), С. 910-916.
4. Макаров А.А. Экономическая оценка риска загрязнения городских почв// XXII Международная молодежная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2015», – М.: МАКС Пресс, 2015, С.
5. Makarov Oleg A., Makarov Artyom A., Chistova Olga A. Economic approaches to the assesment of risk of chemical pollution of soils//7th Congress of the European Society for Soil Conservation “Agroecological assessment and functional-environmental optimization of soils and terrestrial ecosystems”, Moscow, Russian Federation, May 18-22, 2015, p. 54-56.
6. Ковалева Е.И., Николаенко (Кегиян) М.Г., Макаров А.О., Макаров А.А. Оценка нефтезагрязнения бурых лесных почв острова Сахалин с использованием метода фитотестирования// V Международная научная конференция, посвященная 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет, Общество почвоведов им. В.В. Докучаева, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем. 2015. С. 210-213.
- 7.*Макаров О.А., Макаров А.А. Прогнозирование химического загрязнения почв тяжелыми металлами при помощи балансового метода (на примере локальных участков города Москвы и города Подольска)// Экология урбанизированных территорий, 2016, №1, С. 50-58.
- 8.*Макаров О.А., Макаров А.А. Подходы к оценке риска химического загрязнения городских почв//Почвоведение, 2016, №9, С. 1147-1156.
9. Makarov O.A., Ermiyaev Ya R., Makarov A. A. Economic aspects in assesment of urban soils’ chemical pollution (Экономические аспекты оценки химического загрязнения городских почв)// Международная конференция Megacities 2050: environmental consequences of urbanization in Europe (Мегаполисы 2050: экологические последствия европейской урбанизации).

Примечание: * отмечены работы в изданиях из списка ВАК.