

На правах рукописи

АБРОСИМОВА Галина Викторовна

**ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОЧВ В
УСЛОВИЯХ ГОРОДА ПОД МОДЕЛЬНЫМИ ФИТОЦЕНОЗАМИ
(НА ПРИМЕРЕ ЛИЗИМЕТРОВ ПОЧВЕННОГО СТАЦИОНАРА МГУ)**

Специальность 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 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель: **Плеханова Ирина Овакимовна**

Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры земельных ресурсов и оценки почв ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты: **Фрид Александр Соломонович**

Доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Почвенного института имени В.В. Докучаева

Пляскина Ольга Владиславовна

Кандидат биологических наук, научный сотрудник ООО "БИОН"

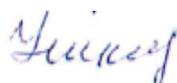
Ведущая организация: **Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН**

Защита состоится 21.02.2017 г. в в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, факультет почвоведения. С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» и на сайтах <http://soil.msu.ru/uchenyj-sovet>, <http://istina.msu.ru>.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по адресу. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения. Факс: (495) 939-29-47, (495) 939-21-47

Автореферат разослан « _____ » _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 501.001.57,
доктор биологических наук



Никифорова Алла Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Изучение особенностей формирования состава и свойств почв в условиях города является актуальной проблемой экологического почвоведения, решение которой необходимо для прогнозной и экологической оценки состояния почв. Свойства городских почв значительно отличаются от природных, о чем свидетельствуют многочисленные исследования (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Аржанова, Елпатьевский, 1990, Обухов, Лепнева, 1996; Строганова, 2009, Водяницкий, Ладонин, Савичев, 2012). Однако при изучении свойств почв часто невозможно достоверно определить в результате каких процессов произошло загрязнение и с какой скоростью оно будет изменяться.

Особенность почв городских территорий состоит в том, что нельзя с уверенностью определить, что является источником загрязнения, что привнесено с атмосферными выпадениями, а что с загрязненным или перемещенным грунтом. Почвы лизиметров являются исключением, поскольку известен состав исходной почвообразующей породы, время закладки опыта, есть возможность проанализировать лизиметрические воды с целью изучения баланса микроэлементов и тяжелых металлов (далее – ТМ) в почвах под разными модельными экосистемами в условиях города.

Формирование микроэлементного состава и свойств почв является биогеохимически обусловленным. В условиях лизиметров, основные различия связаны с особенностями развития модельных фитоценозов и воздействием атмосферных выпадений, поэтому появляется возможность оценки именно этих факторов, которые являются ведущими для многих рекреационных территорий.

Целью работы является изучение состояния почв модельных фитоценозов, развивающихся в условиях города, по химическим, физическим и биологическим показателям, оценка масштабов поступления, накопления и выноса микро- и макроэлементов элементов из почв лизиметров.

Задачи исследования:

1. Изучить содержание, запас и распределение органического вещества и показателей кислотности по профилю почв;
2. Изучить изменение гранулометрического состава почв лизиметров под модельными фитоценозами в процессе почвообразования;
3. Определить скорость микробного продуцирования CO_2 и содержание микробной биомассы в почвах лизиметров;
4. Изучить закономерности распределения соединений микроэлементов и ТМ по профилю почв лизиметров;
5. Изучить динамику, масштабы и формы поступления ТМ, микро- и макроэлементов на поверхность почв лизиметров;
6. Определить содержание ТМ в лизиметрических водах и масштабы их выноса с внутрипочвенным стоком;
7. Исследовать влияние растительного покрова на свойства почв лизиметров и масштабы накопления ТМ в почвах;

8. Провести прогнозную оценку содержания ТМ и микроэлементов в почвах лизиметров по балансу их привноса-выноса.

Научная новизна исследования.

1. Впервые определены масштабы поступления, накопления и выноса ТМ в почвах под различными модельными фитоценозами, развивающимися в условиях города, что позволяет провести прогнозирование уровней загрязнения почв, оценить возможности миграции, аккумуляции и перехода загрязняющих веществ в сопредельные среды.

2. Получены новые данные о биологическом состоянии почв модельных фитоценозов почвенных лизиметров. Показатели базального дыхания и микробной биомассы почв лизиметров позволяют дать оценку экологическому состоянию почв, развивающихся в условиях города.

3. Впервые показана динамика поступления ТМ, микро- и макроэлементов с атмосферными осадками, поступающими на поверхность почв лизиметров в разные годы и в течение осеннего, зимнего и весеннего сезонов.

4. Установлено, что недостатками прогнозной оценки загрязнения почв по результатам снеговой съемки являются: заниженные данные содержания ТМ в почвах вследствие отсутствия данных о выпадениях ТМ в летний период и отсутствия учета влияния растительности на распределение и накопление элементов.

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

1. Значительное накопление микроэлементов и ТМ в поверхностных горизонтах почв под растительными ассоциациями в условиях города определяется атмосферными выпадениями загрязняющих веществ, характером фитоценоза и продолжительностью его существования. Резкое снижение содержания элементов в нижележащих слоях свидетельствует о значительном поступлении их с атмосферными выпадениями и низкой миграционной способности тяжелых металлов.

2. Состав и количество пыли определяют тренды накопления элементов в почвах. Большая часть ТМ поступает в составе твердой части осадков, содержание ТМ в которых значительно превышает их содержание в почвах, что приводит к обогащению почв этими элементами. Содержание ТМ в составе твердой части осадков превышает их количество в исходном суглинке в 100–300 раз для Zn, в 10–60 раз для Pb, 5–40 Ni, в 10–40 раз для Sr.

3. Прогнозная оценка загрязнения почв по результатам снеговой съемки дает заниженные данные по приращению содержания тяжелых металлов в почвах вследствие отсутствия данных о выпадениях ТМ в летний период и отсутствия учета влияния растительности на распределение и накопление элементов.

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют проследить динамику изменения уровней загрязнения и свойств почв в условиях города при использовании их под различными фитоценозами. Это позволит использовать полученные данные при озеленении городских территорий, определении сроков рекультивации почв и замены поверхностного слоя почв в условиях города, выборе

предпочтительных фитоценозов, а также позволяют дать прогнозную оценку для определения экологического состояния растений и качества почв и их изменения со временем.

Личный вклад автора. Все этапы работы проведены лично автором или при его непосредственном участии: отбор и анализ почвенных образцов, растений, атмосферных выпадений и лизиметрических вод, а также математическая обработка полученных результатов.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на конференциях: XXI Международной конференции «Ломоносов – 2014», Москва; XXII Международной конференции «Ломоносов – 2015», Москва; XXIII Международной конференции «Ломоносов – 2016», Москва; XIX Международной научной конференции «Почва – зеркало ландшафта», Санкт-Петербург, 2016; «Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана)», Москва, 2016.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ: 3 статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в список ВАК, 1 статья в коллективной монографии, 5 тезисов докладов на российских и международных научных конференциях.

Структура работы традиционна: введение, обзор литературы, объекты и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы и список литературы, включающий 141 отечественных и 27 зарубежных работ, приложения. Содержательная часть диссертации изложена на 140 страницах, иллюстрирована 11 рисунками, 26 таблицами.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за помощь, ценные советы и постоянную поддержку в работе над диссертацией научному руководителю, д.б.н. Плехановой И.О., д.б.н., профессору Яковлеву А.С., д.б.н., профессору Глазунову Г.П., к.ф.-м.н., ведущему научному сотруднику механико-математического факультета МГУ Гендугову В.М., к.б.н. Евдокимовой М.В., доценту, к.б.н. Богатыреву Л.Г. и всем сотрудникам кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, а также д.с/х.н., профессору кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ Водяницкому Ю.Н. за критический анализ рукописи и ценные указания по ее улучшению.

Отдельную благодарность автор выражает доценту, д.б.н. Ладонину Д.В. и к.б.н. Карпухину М.М. за помощь в проведении лабораторных исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе рассмотрены такие аспекты, как формирование почв в условиях города (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Сает, Ревич и др., 1990; Обухов, Кутукова, 1990), а также влияние антропогенных факторов на микроэлементный состав почв (Обухов, Лепнева, 1988, Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Обухов и др., 1991; Строганова, 1992; Плеханова, Манагадзе, Васильевская, 2003, Антонова, Сафонова, 2007, Джувеликян и др., 2009, Тишкина, Парамонова и др., 2010, Чиринина, 2011), растений (Ильин, Степанова, 1982, Виноградов, 1985, Алексеев, 1987; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989, Минеев, 1990), лизиметрических вод (Роде, 1960, Умарова, 2006, Смирнова, 2007, Пристова, Забоевой, 2007, Первова, Егоров, 2012,) грансостав (Пляскина, Ладонин, 2004, Шеин, 2009,) и биологическую активность почв (Сусьян, Ананьева, 2009; Гавриленко, Сусьян, Ананьева, 2011, Владыченский, 2012, Щепашенко, Мухортова, 2013, Трифонова и др., 2014).

Особое внимание уделено лизиметрическим исследованиям (Геммерлинг, 1922, Голубев, 1967, Винник, Большев, 1972, Шеин, Умарова, 2002, Смирнов, 2005), а также исследованиям лизиметров почвенного стационара МГУ, в которых изучена миграция элементов в модельных фитоценозах (Герасимова, Первова, 1987), проведено изучение составляющих водного режима (Лобутев, Герасимова, 1980, Первова, Егоров, 2012), гумусного состояния почв (Савельев, Владыченский, 2001, Верховец, 2005), минералогического состава илистой и пылеватой фракций (Верховец, Чижикова, Владыченский, 2006), показателей биологического круговорота (Владыченский, Ульянова, Золотарев, 2000; Золотарев, 2006) и химических свойств почв модельных фитоценозов (Винник, Большев, 1972, Плеханова, Манагадзе, Васильевская, 2003).

Проведен сравнительный анализ состояния почв лизиметров почвенного стационара МГУ по различным показателям с момента их создания до настоящего времени. Анализ литературы позволил сформулировать цели и задачи исследования.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись почвы лизиметров почвенного стационара МГУ. Лизиметрические установки были заложены в 1965 г. с целью изучения особенностей почвообразовательного процесса на покровных суглинках под растительностью, характерной для юга таежной зоны (Винник, Большев, 1972, Лобутев, Герасимова, 1980).

Открытый лизиметр состоит из 20 отдельных бункеров (площадь каждого из них 9 м^2 , объем – $13,5 \text{ м}^3$). Мощность слоя бескарбонатного покровного суглинка, засыпанного в лизиметры, составила 2 м. В лизиметрах были созданы фрагменты растительных сообществ, типичных для южной тайги. Из 20 лизиметров четыре заняты еловыми насаждениями, четыре – смешанными насаждениями из ели, дуба и клена, четыре широколиственными породами (дуб, клен). В четырех лизиметрах были посеяны

многолетние травы (ежа сборная, райграсс, тимофеевка, люцерна, клевер). Два лизиметра были заняты культурами, входящими в девятипольный полевой севооборот, и два лизиметра – контрольные, которые поддерживали в состоянии чистого пара (Винник, Большев, 1972).

На лизиметрах, имитирующих еловый фитоценоз, было высажено по 61 саженцу ели; в смешанных посадках – по 30 саженцев ели, 16 – дуба и 15 – клена. В лизиметры с широколиственными породами были посажены 31 саженец дуба и 30 клена. Количество деревьев со временем изменялось, в 2006 г оно составляло: на лизиметрах с хвойными насаждениями - 188 елей; на лизиметрах со смешанными насаждениями - 104 ели, 24 дуба, 16 кленов; на лизиметрах с широколиственными насаждениями - 83 дуба, 41 клен (Золотарев, 2006). На лизиметрах с древесными породами произрастает небольшое количество деревьев других пород (береза, ива, осина), которые выросли из занесенных семян. После санитарной рубки, проведенной в 2009 г, в лизиметрах с еловыми насаждениями осталось 64 ели, в лизиметрах со смешанным насаждением – 45 елей, 7 берез, 2 клена, 1 дуб и 1 осина, в лизиметрах с широколиственным насаждением – 20 кленов, 14 дубов, 3 березы, а также подрост дуба и клена платановидного. В настоящее время лизиметры, входившие в 9-польный севооборот, находятся в состоянии залежи, они заняты травянистой растительностью, среди которой преобладает кострец безостый, бодяк полевой и одуванчик лекарственный. Лизиметры, ранее находившиеся в состоянии чистого пара, в настоящее время частично заняты травянистой растительностью с проективным покрытием от 10 до 30%.

На примере лизиметров почвенного стационара МГУ им. М.В. Ломоносова в разное время были проведены исследования миграции природных вод и основных элементов под различной растительностью (Герасимова, Первова, Рыжова, 1987, Лобутев, Герасимова, 1980, Первова, Егоров, 2012). Изучены показатели биологического круговорота и продуктивности в модельных растительных сообществах почвенных лизиметров (Владыченский, Ульянова, Золотарев, 2000, Золотарев, 2006) Исследовано изменение гранулометрического и минералогического состава илистой и пылевой фракций (Верховец, Чижикова, Владыченский, 2006, Савельев, 2001, Чижикова, Верховец, Владыченский, 2006).

Летом 2013 года с помощью бура отобрали 50 почвенных проб из шести лизиметров: под паром с глубины 0-10 см, 10-25, 25-40, 40-55, 55-72; под еловым лесом: О1 (L) - 0-3см горизонт лесной подстилки, А 3-10 см – слабогумусированный покровный суглинок; С, - 13-23, 23-30, 30-38, 38-45, 45-52, 52-60, 60-67 см - однородный покровный суглинок. Под смешанным лесом: О1 (L) - 0-2 см - опад прошлых лет, преимущественно лиственных пород, сохранивший свою структуру и консистенцию, О2 (H) - 2-5 см ферментативный горизонт подстилки, основная масса более разложившихся листьев бурых тонов, А – 5-10 см - слабогумусированный покровный суглинок, АС - 10-17 см – неоднородный по окраске, с фрагментами прокрашенного гумусом покровного суглинка, С, 17-28, 28-38, 38-48, 48-61, 61-71 - покровный суглинок. Под широколиственным лесом: О1 (L) 0-1 см – опад прошлых лет, представленный хорошо сохранившимися листьями дуба и других лиственных пород,

O2 (H) 1-2 – ферментативный горизонт подстилки в отличие от предыдущего горизонта материал в большей степени разложившийся; А – 2-10 см – хорошо прогумусированный горизонт, 10- 20 см - неоднородный по окраске покровный суглинок, 20-33, 33 – 48, 48 - 63 см – однородный покровный суглинок. Под многолетними травами: O1 (L) 0-1см – опад прошлых лет, преимущественно широколиственных и мелколиственных пород, поступающих сюда со смежных участков; А, 1-6 см – неоднородный по окраске, с фрагментами прокрашенного гумусом покровного суглинка, 6-11, 11- 22, 22-35, 35- 40, 40 – 45, 45- 50, 50-60, 60-65 см - однородным покровный суглинок. Залежь: O1(L) 0-2 опад прошлых лет, представленный остатками злаковой растительности, сохранившей свою структуру; А, 2-12 см - неоднородный по окраске, с фрагментами прокрашенного гумусом покровного суглинка; АС, 12-20 и 20-30 см – неоднородный суглинок с вкрапления гумуса; 30-40, 40-53, 53-60, 60-70 см – однородный тяжелый суглинок рыжевато-песочного цвета. Было отобрано 12 проб растений по всем лизиметрам.

Для изучения масштабов поступления ТМ с осадками, в зимний период с 1 декабря 2013 года по 1 марта 2014 года были установлены пластиковые сосуды для сбора атмосферных осадков. Пробы атмосферных выпадений также отбирали с октября 2014 года по апрель 2015 года каждые 2 месяца. Затем осадки фильтровали, взвешивали, измеряли объем талых вод, отдельно анализировали осадки и талые воды. Поступление пыли на поверхность почв рассчитывали исходя из массы твердой фракции снеговых осадков, выпадающих на поверхность почв за зимний период. В предыдущие годы снег отбирали с помощью бура на всю глубину снежного покрова (Плеханова, Манагадзе, Васильевская, 2003). Твердые осадки ранее отобранного снега хранили и затем анализировали описанными ниже методами.

Пробы почв были просушены, растерты и посеяны через сито 1мм. Определены некоторые физико-химические показатели свойств почв лизиметров: общее содержание органического углерода по Тюрину в модификации Никитина, рН водной и солевой вытяжек потенциометрически (Агрохимические методы..., 1975).

В почвах были определены кислоторастворимые соединения Zn, Cu, Pb, Ni, Fe и Mn в 1 н HNO₃ вытяжке. Валовое содержание ТМ в почвах и твердом осадке снега лизиметров, определяли после разложения их царской водкой (HCl + HNO₃ в соотношении 3:1) (Плеханова, Кутукова, 2004). Растворимую часть снега фильтровали и концентрировали упариванием в 50 раз.

Проводили сухое озоление растений с последующим растворением золы в 1 н HNO₃. Количественный химический анализ образцов талой воды, растворенного осадка, золы растений и почвенных вытяжек проводили с определением ТМ на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-3 и методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой «Agilent ICP-MS 7100a».

Анализа гранулометрического состава почв лизиметров проводили методом лазерной дифракции на дифрактометре «Analysette 22 comfort», который является прибором универсального применения для определения распределения частиц по размерам в суспензиях, эмульсиях и порошках.

В гумусово-аккумулятивном горизонте почв определяли содержание углерода микробной биомассы и базальное дыхание почв лизиметров методом газовой хроматографии на хроматографе модели 3700 с детектором по теплопроводности (Степанова, Лысак, 2002). Углерод микробной биомассы (С_{мик}) рассчитывали по формуле: $C_{\text{мик}} (\text{мкг С г}^{-1} \text{ почвы}) = \text{мкл CO}_2 \text{ г}^{-1} \text{ почвы} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot 40,04 + 0,37$ (Anderson J.P.I., Domsh K.H.A.). Базальное дыхание почвы (1 г увлажненной до 60% ПВ) определяли по скорости продуцирования CO₂ (22⁰С, 24 ч) и выражали в мкмоль С - CO₂ г⁻¹ почвы*ч⁻¹.

Для анализа полученных результатов наблюдений и аналитических данных использована описательная статистика и сравнение средних значений по параметрическому критерию Стьюдента (t-критерий) с выбранным уровнем значимости $\alpha=0,05$. Для статистической обработки данных использовали программы Sigma plot-2011 и Microsoft Excel 2010.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Распределение органического вещества и показателей кислотности по профилю почв под модельными фитоценозами лизиметров

В настоящее время почвы всех лизиметров характеризуются нейтральной и слабокислой реакцией среды, которая постепенно уменьшается и на глубине 40–60 см приближается к рН исходного покровного суглинка (5.2). Для поверхностного слоя почв лизиметров отмечается повышение значений рН на 1 единицу по сравнению с исходным суглинком. Сравнивая данные 2013 г. с полученными в 1995 и 2001 гг. (Плеханова, Манагадзе, Васильевская, 2003, Савельев, 2001, Савельев, Владыченский, 2001), можно отметить, что значения рН изменились незначительно, вероятно, соотношение кислотных и щелочных компонентов в составе почв и атмосферных осадков достигло динамического равновесия. Только в поверхностном слое почв лизиметров под древесной растительностью наблюдается некоторое увеличение значений рН, вероятно за счет большего поступления пыли на поверхность почв с листьями деревьев.

За прошедшие 49 лет под модельными фитоценозами сформировались маломощные почвенные профили: под еловым насаждением – горизонт подстилки мощностью 0–3 см, под смешанным насаждением подстилка подразделилась на два подгоризонта: O1(L), 0–2 см – опад прошлых лет и O2(H), 2–5 см – ферментативный горизонт. Под широколиственным насаждением подстилка также подразделяется на два подгоризонта: O1(L) 0–1 см – опад прошлых лет, представленный хорошо сохранившимися листьями дуба и других лиственных пород и O2(H) 1–2 см – ферментативный горизонт. По результатам исследований 2001 г. под смешанным и широколиственным насаждением подстилка была меньшей мощности и не подразделялась на подгоризонты (Савельев, 2001, Савельев, Владыченский, 2001). К настоящему времени горизонт подстилки сформировался и под многолетними травами (0–1 см), и на площадках под залежью (0–2 см). Только контрольные площадки под паром, которые практически лишены растительности, не дифференцированы на горизонты.

В почвах лизиметров под всеми фитоценозами сформировался гумусово-аккумулятивный горизонт. По сравнению с данными 1995 и 2001 г. (Плеханова и др., 2003, Савельев, 2001) в почвах произошло накопление органического углерода и увеличение мощности гумусово-аккумулятивного горизонта. Минимальное содержание углерода отмечено для почв без растений – под чистым паром, а максимальное – характерно для подстилок под широколиственным и еловым насаждением (потеря при прокаливании 21.8–38.5%). Характер распределения органического вещества и мощность гумусированного горизонта зависят от количества и химического состава поступающего с опадом органического вещества. Наиболее контрастное распределение углерода характерно для почв под еловым насаждением, где ниже горизонта гумусонакопления содержание органического углерода резко уменьшается. Вероятно, это связано с трудностью разложения подстилки и кислотными продуктами ее минерализации. Для почв под смешанным и широколиственным насаждением, а также под залежью (постагрогенный фитоценоз), кроме горизонта гумусонакопления выделяется переходный гор. АС мощностью 7–10 см с меньшим содержанием органического углерода и неоднородной окраской.

Наибольший запас надземной фитомассы характерен для древесных насаждений. Однако запас гумуса в травянистых фитоценозах близок к запасу под древесными насаждениями. Большое влияние имеет доступность поступающего с почвой органического вещества.

3.2. Определение гранулометрического состава по профилю почв лизиметров и его изменение по сравнению с исходным суглинком

При определении гранулометрического состава почв лизиметров было установлено снижение содержания фракций крупной пыли в слое 0-40 см по всем лизиметрам. На глубине 40-45 см содержание фракции крупной пыли приближается к таковому покровного суглинка, которое составляет 57,28 %. Отмечено значительное увеличение фракции тонкого песка по всему профилю почв (от 9,03 до 26,14 %) по сравнению с исходным покровным суглинком, содержание этой фракции в котором составляет 6,81 %.

В поверхностном слое почв в составе физической глины произошло уменьшение содержания фракций грубого ила и мелкой пыли, с глубиной значения увеличиваются и составляют от 3,07 до 7,32 % и от 12,91 до 16,37 %, соответственно.

По содержанию средней пыли наблюдается разброс данных, от 8,47 до 10,75 %, что не позволяет сделать определенных выводов, в то время как в почвообразующей породе, которой является покровный суглинок, содержание этой фракции имеет промежуточное значение – 9,78 %.

Таким образом, в поверхностных горизонтах почв лизиметров произошло облегчение гранулометрического состава - увеличение фракции песка и снижение содержания глины. Вероятно, это связано с процессами выветривания глинистых минералов. Уменьшения содержания мелкой пыли и ила, и увеличения содержания тонкого песка привело к снижению содержания физической глины.

По мнению ряда ученых, это происходит за счет разрушения смектитовой фазы почв – в первую очередь индивидуального смектита, а также за счет перехода смектитов в супердисперсное состояние и увеличения в почве тонкодисперсного кварца. Как известно, илистая фракция покровного суглинка характеризуется резким преобладанием смектитовой фазы (75 %). Все это позволило авторам предположить, что процессом, формирующим профиль слаборазвитых почв лизиметров, является лессиваж (Савельев, 2001, Чижикова, Верховец, Владыченский, 2006).

3.3. Содержание углерода микробной биомассы и базальное дыхание почв лизиметров

Определение содержания углерода микробной биомассы (**Смик**) и базального дыхания (**БД**) в гумусовом горизонте почв модельных фитоценозов показало, что наибольшее содержание микробной биомассы наблюдается в гумусовом горизонте почв под смешанным насаждением (834 мкг/г почвы), затем следуют почвы под широколиственным и еловым насаждениями. В почвах под многолетними травами и под залежью микробная биомасса в 4 раза меньше, чем под древесными насаждениями и минимальное содержание микробной биомассы наблюдается в почвах под чистым паром (122 мкг/г почвы). Некоторые авторы считают, что углерод микробной биомассы может быть чувствительным индикатором изменения окружающей среды, который широко используется в экологических и мониторинговых исследованиях (Hargreaves, Brrookes, Ross, Poulton, 2003, Wang, Markert, Shen, Peng, Ouyang, 2011).

Базальное дыхание часто рассматривают в качестве критерия для оценки почвенного плодородия, так как считается, что оно отражает доступность органического вещества для почвенных микроорганизмов, поскольку весь углерод, теряемый почвой с дыханием, должен проходить через микробный пул (Witter, 1996). В почвах модельных фитоценозов и базальное дыхание, и содержание углерода микробной биомассы под древесной растительностью больше, чем в травянистых фитоценозах. Считается, что величина микробной биомассы более чувствительный показатель изменения окружающей среды, чем содержание органического вещества в почве, так как быстрее реагирует на все изменения ее состояния (Гавриленко, Сусьян, Ананьева, Макаров, 2011).

Интенсивность биологического круговорота веществ отражается на показателях базального дыхания и микробной биомассы почв лизиметров. Максимальная эмиссия С–СО₂, а также максимальная микробная биомасса характерны для смешанного насаждения, затем следуют широколиственное, еловое насаждение, многолетние травы, залежь, а наименьшая скорость БД наблюдается в лизиметре под чистым паром (рис.1). Показатели скорости продуцирования СО₂ и величины микробной биомассы, полученные для почв модельных фитоценозов близки к значениям, полученным другими авторами для естественных лесных, луговых и постагрогенных биоценозов даже несколько больше, чем было показано авторами для почв естественных биоценозов (Аржанова, Елпатьевский, 1990, Гавриленко, Сусьян, Ананьева, Макаров, 2011, Сусьян,

Ананьева и др., 2009). Вероятно, это связано с поступлением дополнительных элементов питания с осадками и атмосферными выпадениями.

Древесные насаждения испытывают явные признаки угнетения, вероятно, вследствие загущения посадок, и их состояние оценивают как не соответствующее даже низкобонитетным лесам (Владыченский, Ульянова, Золотарев, 2000). Некоторые авторы отмечают, что дыхание городских почв может быть сопоставимо или даже больше, чем для естественных экосистем (Andrews, Carroll, 2001, Wang, Markert, Shen, Peng, Ouyang, 2011), полученные нами данные подтверждают это наблюдение.

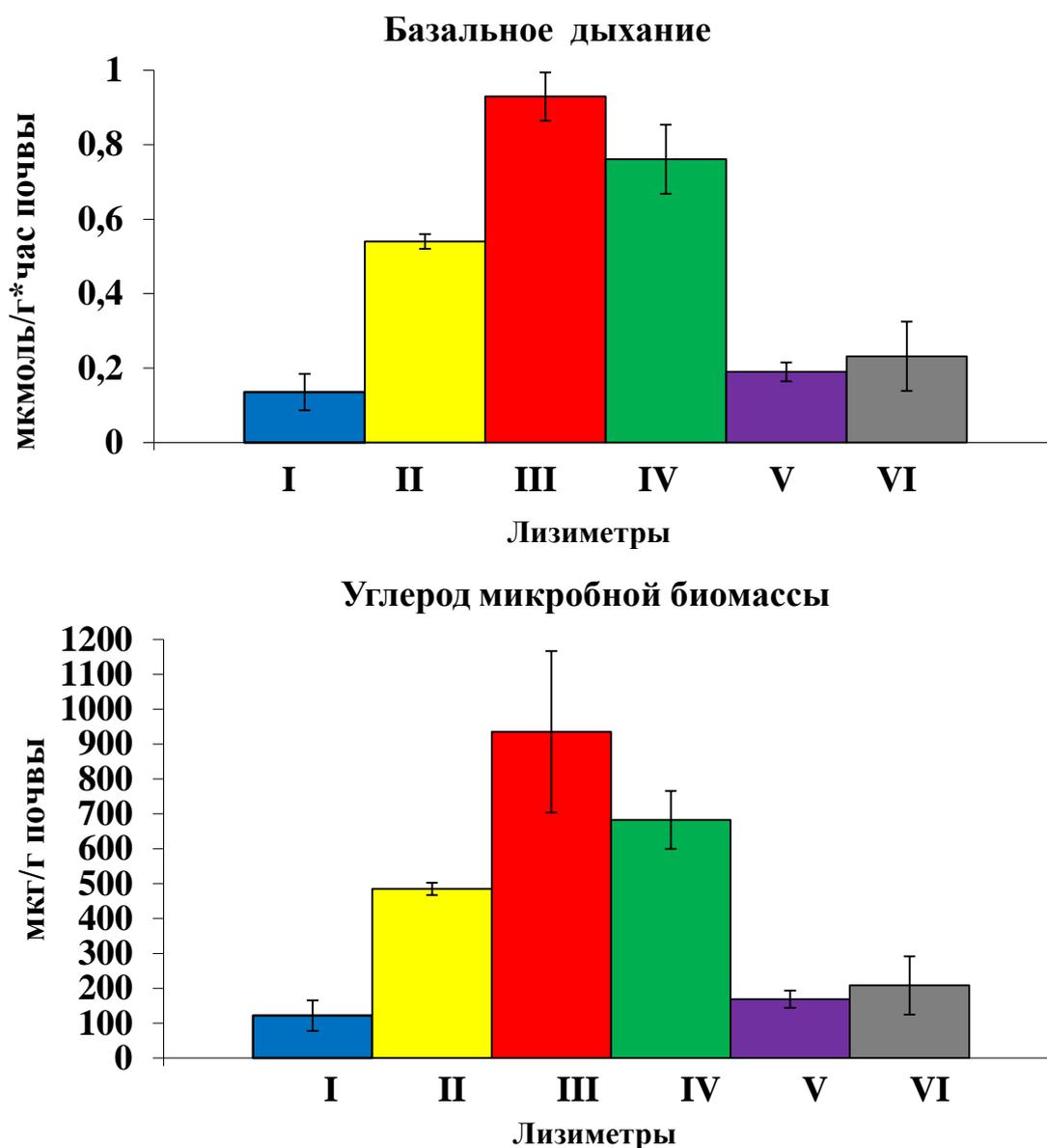


Рис. 1. Базальное дыхание и содержание углерода микробной биомассы в почвах лизиметров. I – Чистый пар, II - Еловые насаждения; III - Смешанные насаждения; IV - Широколиственные насаждения; V - Многолетние травы; VI - Залежь.

Доля микробной биомассы в составе органического углерода почв лизиметров под разными фитоценозами сильно различается: для елового насаждения она минимальна 1.2%, для смешанного 1.9, а для широколиственного 2.7, что отражает доступность

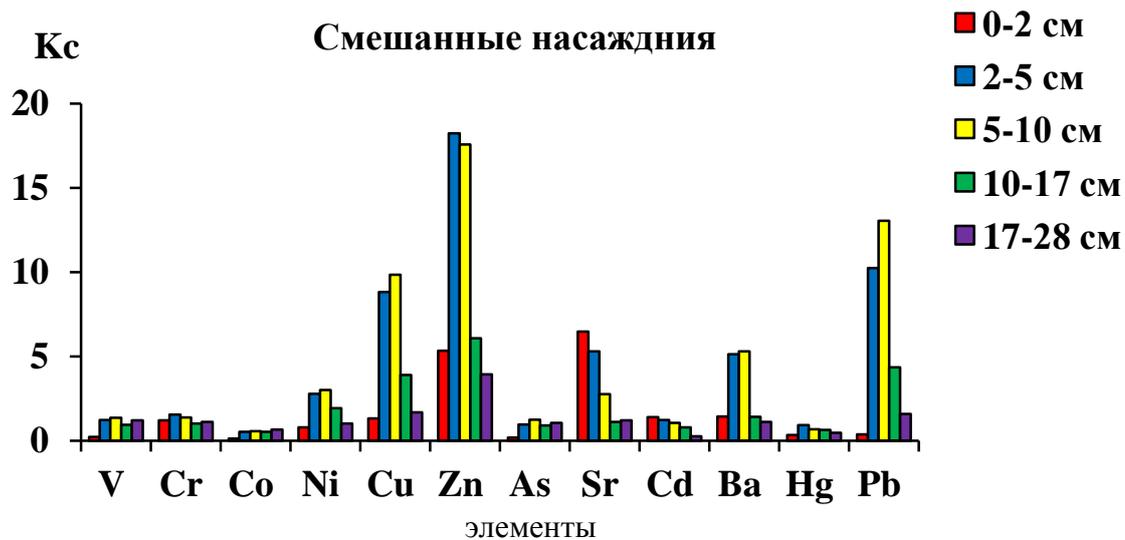
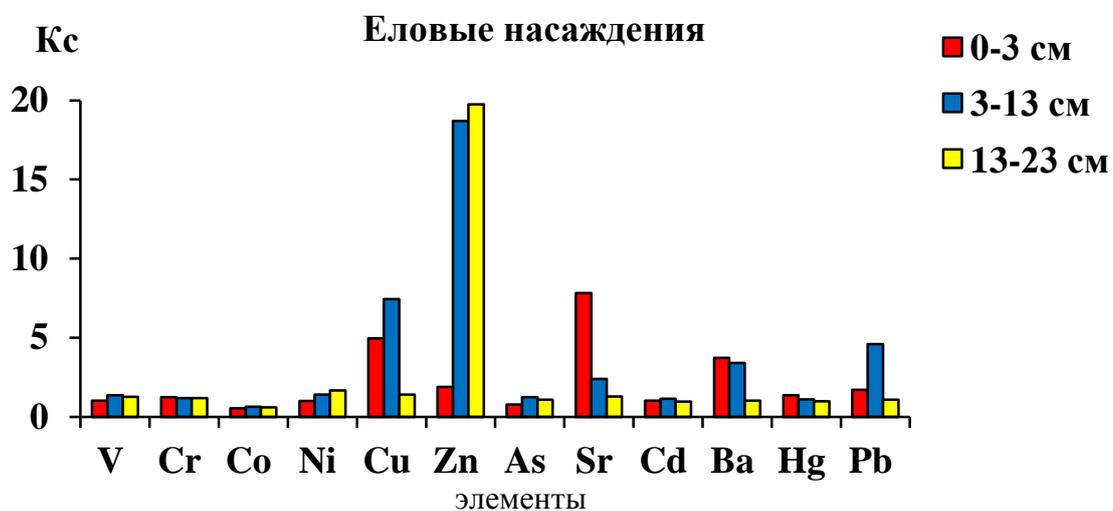
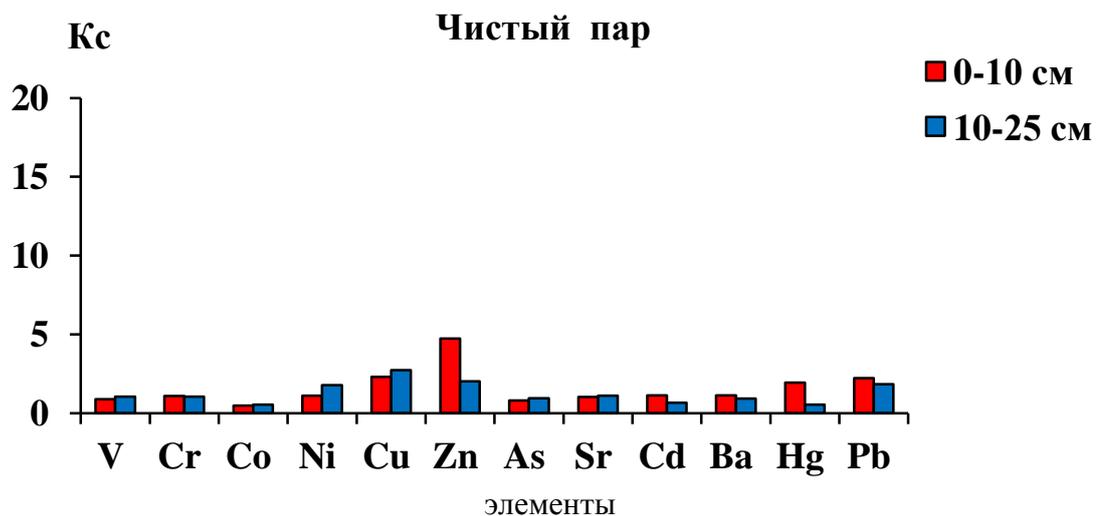
органического вещества для микроорганизмов. В почвах под многолетними травами и залежью эта доля равна 1.1 и 0.9% соответственно, а в почве под чистым паром 3.3%. Высокая доля микробной биомассы в составе органического углерода почв под чистым паром объясняется тем, что практически весь органический углерода в этой почве микробного происхождения.

3.4. Влияние различных фитоценозов и атмосферных выпадений на элементный состав почв в условиях города

Анализ элементного состава почв модельных экосистем показал накопление микроэлементов и ТМ в поверхностном слое почв. Значительная часть микроэлементов и ТМ, поступающих на поверхность почв с техногенными потоками, задерживается в верхних горизонтах, так как химические свойства этих элементов обуславливают их прочное закрепление в почве, особенно в условиях нейтральной и слабокислой реакции среды. Состав и количество удерживаемых элементов зависят от состава и количества атмосферных выпадений, химических свойств элементов, а также от содержания и состава гумуса, кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности почв, биологического поглощения и гранулометрического состава.

Характер распределения элементов по профилю почв является важным диагностическим показателем направленности почвообразовательных процессов. Изучение содержания кислоторастворимых соединений элементов, которые характеризуют запас почвенных и техногенных форм соединений, показало значительное их накопление в поверхностных горизонтах почв под различными растительными ассоциациями. Максимальное накопление элементов отмечается в подстилке и на глубине 2–15 см. Накопление микроэлементов и ТМ в поверхностном слое почв лизиметров и резкое уменьшение их содержания в нижележащих слоях свидетельствует о значительном поступлении этих элементов с атмосферными выпадениями. Соединения элементов, поступающие на поверхность почв с атмосферными выпадениями, в первую очередь вступают в контакт со слоем лесной подстилки и аккумулируются в ней вследствие процессов сорбции и комплексобразования с органическим веществом растительных остатков.

Чтобы сделать обоснованное заключение о направленности процессов почвообразования надо сравнить реальное содержание определяемого элемента в почве (С) и его содержание в аналогичной природной среде на фоновом участке (Сф). Это отношение (Кс) показывает масштабы накопления элементов в почвах $K_c = C/C_f$. В наших исследованиях фоновым является исходный суглинок, который был засыпан в лизиметры в 1965 г. Коэффициенты концентрации элементов в почвах лизиметров относительно исходного суглинка наглядно показывают тренды их накопления в почвах под различными фитоценозами. Наблюдается значительное загрязнение поверхностного слоя почв Zn. Причем максимальные значения характерны для почв под древесной растительностью, где содержание Zn в 18–20 раз выше, чем в исходном суглинке. Для почв под травянистой растительностью содержание Zn увеличилось в 14–16 раз,



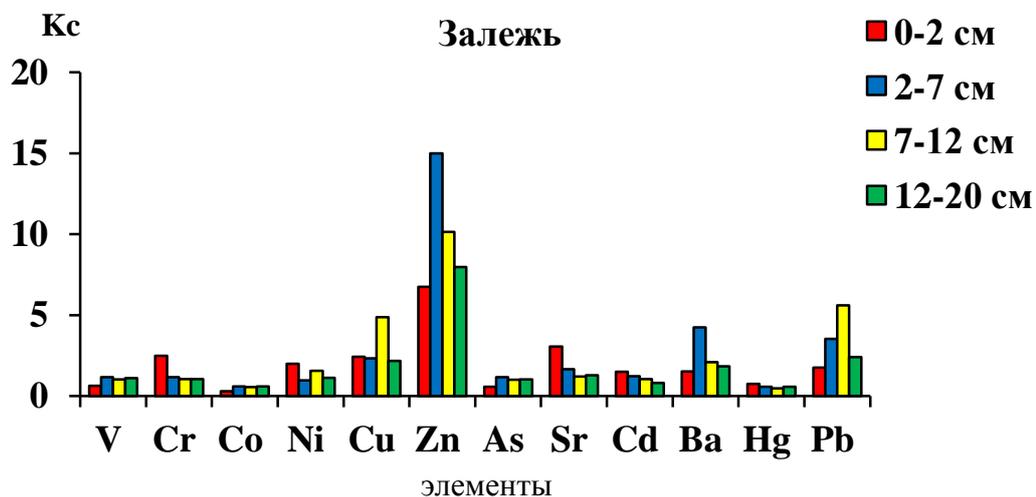
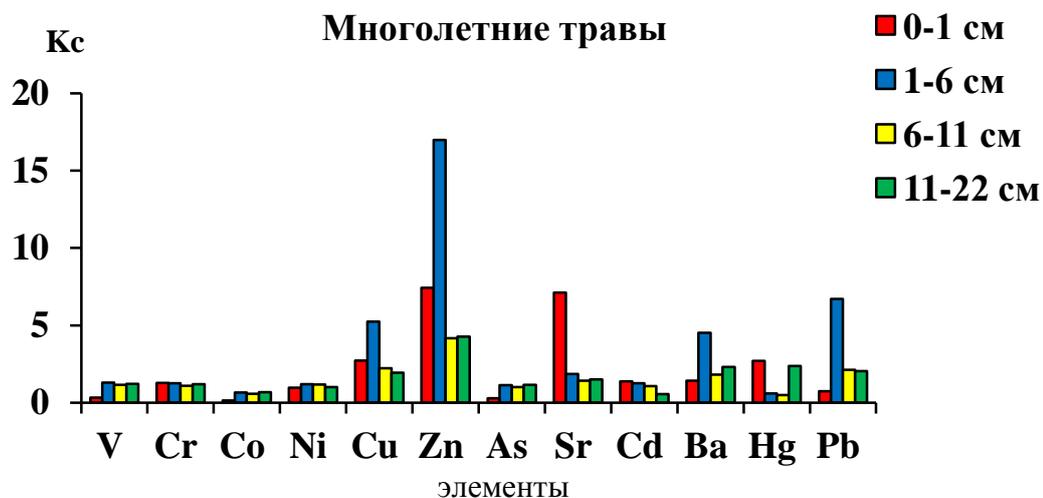
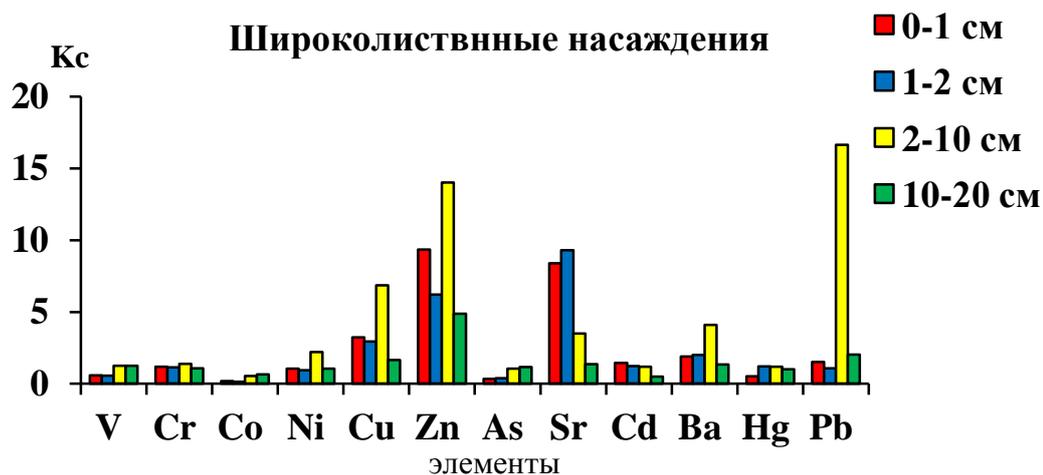


Рис. 2. Коэффициент концентрации тяжелых металлов (Кс) в почвах лизиметров относительно исходного суглинка по глубине слоя.

а для почв без растений – в 5 раз. Содержание Pb и Cu увеличилось меньше в 2.2 раза для почв под чистым паром и в 6–12 раз для почв под остальными модельными фитоценозами. Наибольшая разница в содержании элементов наблюдается для поверхностного слоя почв (рис.2).

Если рассмотреть запас элементов в слое 0–50 см, разница несколько сглаживается, однако явно прослеживается накопление элементов под различными фитоценозами. Элементный состав почв лизиметров формируется в основном под влиянием различных растительных сообществ и атмосферных выпадений, чтобы оценить влияние этих факторов необходимо сравнить запас ТМ в почве без растений (под чистым паром) и почвах лизиметров под различной растительностью. Увеличение запаса элементов в почве под чистым паром по сравнению с исходным суглинком определяется в основном атмосферными выпадениями, в то время как в почвах с модельными фитоценозами большую роль играет биогенное поглощение и возврат элементов в почву с опадом, а также оседание пыли на кронах деревьев и листовой поверхности трав. Запас ТМ в слое почв мощностью 50 см под древесной растительностью увеличился за прошедшие 49 лет в 4 раза, под травянистой растительностью в 3 раза, а под чистым паром в 2 раза (табл. 1).

Эти данные отражают участие атмосферных выпадений в формировании микроэлементного состава почв под чистым паром и суммарное участие растительности и атмосферных выпадений для почв под модельными фитоценозами. Масштабы накопления элементов в почвах различны, что определяется в основном составом и количеством атмосферных выпадений, а также биогенным накоплением.

Таблица 1. Запас кислоторастворимых соединений тяжелых металлов в почвах лизиметров г/м² (в слое 0-50 см) за 49 лет

Лизиметр	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb	∑Запаса ТМ
Исходный суглинок	56,6±1,69	2,44±0,1	2,79±0,1	5,64±0,2	1,99±0,1	69,44±2,8
Еловое насаждение	153,8±12,3	7,95±0,5	8,46±0,3	92,55±9,6	7,67±0,5	270,42±18,7
Смешанное насаждение	169,02±15,6	9,15±0,6	9,78±0,9	82,58±3,5	10,11±0,3	280,63±28,5
Широколиственное насаждение	172,3±17,12	8,70±0,4	6,76±0,4	93,99±13,5	9,29±0,11	291,02±11,6
Залежь	159,8±24,92	7,41±0,3	5,34±0,2	49,37±1,3	6,51±0,3	228,37±19,1
Многолетние травы	118,4±14,32	8,72±0,7	6,7±0,8	59,16±2,3	9,11±0,4	202,10±8,3
Чистый пар	69,0±2,76	7,20±0,4	5,12±0,3	40,80±1,6	5,16±0,2	127,29±6,1

О составе атмосферных выпадений судили по данным анализа снега. Вынос элементов учитывали по составу и объему лизиметрических вод, прошедших через двухметровую толщу почв. Количество поступивших на поверхность почв металлов складывалось из их содержания в растворимой части (талых водах снега) и находящихся в нерастворимой части (твердом осадке). Соотношение между содержанием элементов в растворимой части и нерастворимой для разных элементов различно и, вероятно, будет оказывать влияние на их трансформацию и миграцию в почвах. Большая часть микроэлементов и ТМ поступает на поверхность почв в форме труднорастворимых соединений и задерживается в верхних горизонтах. В составе твердой части осадков

содержание ТМ значительно превышает их количество в почвах, что приводит к обогащению почв этими элементами.

Следует отметить, что состав и количество нерастворимого осадка в составе атмосферных выпадений сильно изменяется по годам, а также в течение года. Зимой 2013/2014 гг. содержание Zn, Cu и Ni в нерастворимой части снега превысило содержание этих элементов в 1995 г. в 1.5 раза. Содержание Pb в нерастворимой части снега в 1995 г. было в 4 раза выше по сравнению с предыдущими годами и в 2 раза выше, чем зимой 2013/2014 года. Содержание ТМ в осадках за осенний и зимний периоды 2014-2015 гг. сильно различается, увеличиваясь от осени к весне. Максимальные концентрации были отмечены в феврале - марте 2015 года. В этот период содержание Zn и Cu достигло максимального значения и превысило результаты 2013/2014 гг. в 1,3 и 2,4 раза, соответственно. Концентрация ТМ в составе пылевой части атмосферных выпадений увеличивается со временем и значительно различается по годам. Однако поступление пыли в 1980 и 1984 гг. были значительно больше, чем за зимний период в 1995 г., 2013/2014 гг. и 2014/2015 гг. Уменьшение поступления пыли, вероятно, связано с закрытием и выводом многих промышленных предприятий за черту города, а многократное увеличение численности автомобильного транспорта вызвало повышение концентраций ТМ в составе атмосферных выпадений (табл. 2).

Большое влияние на формирование почвенного профиля имеет водный режим лизиметров. Изучение составляющих водного режима проведено рядом исследователей (Лобутев, Герасимова, 1980, Первова, Егоров, 2012). Величина выноса воды из лизиметров обусловлена, с одной стороны, количеством годовых осадков, с другой, степенью иссушения почвенно-грунтовой толщи в результате расхода влаги при испарении и транспирации растительностью. Наибольший вынос воды наблюдался в лизиметрах под чистым паром, меньше под травянистой растительностью, еще меньше под широколиственным насаждением, минимальный сток отмечен под смешанным и еловым насаждением (Лобутев, Герасимова, 1980, Первова, Егоров, 2012).

Экспериментальное изучение миграционных форм металлов показало, что их содержание в лизиметрических водах невелико и не превышает такового в водах природных ландшафтов (Обухов, Попова, 1992). Лизиметрические исследования широко используют для изучения состава и свойств мигрирующих в почвах растворов. Эти данные в условиях города смогли бы дать информацию о потоках загрязняющих веществ, об интенсивности и скорости их миграции в грунтовые воды, об опасности загрязнения грунтовых вод, если она существует.

Следует отметить, что содержание ТМ в лизиметрических водах значительно меньше, чем в растворимой части снеговых осадков. Таким образом, при существующем уровне загрязнения почв не происходит опасного загрязнения почвенно-грунтовых вод ТМ вследствие их низкой растворимости в почвенном растворе и прочной фиксации в почвенном поглощающем комплексе. С другой стороны, это свидетельствует о том, что практически все микроэлементы и ТМ, выпадающие на поверхность почв в составе атмосферных осадков, прочно удерживаются в почвах.

Таблица 2. Содержание микроэлементов и ТМ в снеге и поступление пыли за зимний период, в числителе - растворимая часть, мг/л, в знаменателе – нерастворимая часть, мг/кг

Годы	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Sr	Поступление пыли, г/м ²
1979/1980 гг.*	1683,5±84,2	141,4±12,7	38,8±3,9	123,6±11,2	42,2±5,1	87,7±6,14	35,6
1983/1984 гг.*	1540±110,1	87,62±7,9	55,9±6,2	165,25±18,3	86,95±13,4	102,8±9,3	18,1
1994/1995 гг.	0,25±0,025 /2989±98,7	0,009±0,0008/ 253,4±30,4	0,001±0,0002/ 281,6±31	0,05±0,003/ 633,6±50,8	0,003±0,0005/ 334,5±36,8	-	5,7
2013/2014 гг.	0,065±0,0078/ 4326,7±319,2	0,009±0,0005/ 314,05±47,2	0,015±0,003/ 241,8±36,3	0,0041±0,0004/ 262,8±21,0	0,051±0,006/ 492,15±63,9	0,021±0,001/ 39,04±4,3	6,6
1.10-30.11.2014	0,077±0,0035/ 1942,6±153,3	0,0114±0,0026/ 157,7±24,7	0,00034±0,0001/ 35,8±3,23	0,0002±0,00001/ 34,7±4,51	0,0039±0,0002/ 49,24±10,6	0,045±0,004/ 68,6±5,12	2,3
1.12.2014 - 31.01.2015	0,099±0,003/ 3658,5±236,3	0,0046±0,0006/ 403,56±6,4	0,00034±0,0001/ 55,76±11,1	0,00015±0,00002/ 135,3±19,2	0,0013±0,0002/ 59,58±10,7	0,0084±0,001/ 74,8±5,57	1,9
1.02-31.03.2015	0,110±0,02/ 9907,7±972,3	0,0071±0,0002/ 858,6±84,5	0,00055±0,0001/ 212±44,9	0,00028±0,00009/ 582,5±44,9	0,0022±0,0001/ 168,78±46,3	0,017±0,0009/ 302,2±17,7	0,7

* – нерастворимая часть снега, мг/кг

Таблица 3. Содержание макроэлементов в снеге и поступление пыли за зимний период, в числителе - растворимая часть, мг/л, в знаменателе – нерастворимая часть, мг/кг

Годы	Ca	K	Na	Mg	Al	Fe	Mn	Поступление пыли, г/м ²
1979/1980 гг.*	7360±1094,4	6990±1209,7	6375±991,5	1865±93,2	6377±255,1	19170±1660,3	222±16,68	35,6
1983/1984 гг.*	8580±929	1653±349,6	1117±233,5	2381±319,05	9042±871,3	20792±1431,2	369±25,09	18,1
1994/1995 гг.	-	-	-	-	-	0,053±0,005/ 30272±2987,6	0,013±0,0009/ 405±32,9	5,7
2013/2014 гг.	5,8±0,52/ 11508±1528,8	1,33±0,11/ 2288±297,1	7,32±0,62/ 2034±161,0	0,44±0,002/ 3112±155,6	0,05±0,003/ 7002±610,5	0,13±0,009/ 21155±2634,5	0,23±0,02/ 365±10,95	6,6
1.10-30.11.2014	13,24±0,19/ 26289±1051,4	6,8±1,28/ 3123±427,3	2,14±0,23/ 1659±276,9	1,7±0,02/ 6131±283,9	0,003±0,0002/ 7552±925,7	0,063±0,003/ 4976±549,8	0,001±0,0007/ 589±46,8	2,3
1.12.2014 - 31.01.2015	2,28±0,58/ 20194±1849,1	0,83±0,06/ 1348±57,8	2,3±0,38/ 1815±119,2	0,24±0,08/ 6180±485,4	0,002±0,0005/ 8523±462,13	0,054±0,003/ 23152±1694,3	0,003±0,0006/ 507±102,9	1,9
1.02-31.03.2015	5,34±0,58/ 121823±4624,8	1,4±0,14/ 6645±599,6	5,35±0,44/ 8123±309,2	0,4±0,062/ 19754±1258,1	0,008±0,0003/ 25511±2730,2	0,024±0,001/ 76127±2289,1	0,018±0,004/ 1417±242,7	0,7

* – нерастворимая часть снега, мг/кг

Для получения более полной информации о накоплении микроэлементов и ТМ в почвах лизиметров рассчитаны коэффициенты концентрации (Кс) в пыли относительно исходного суглинка (рис. 3). Содержание элементов в пыли атмосферных выпадений превышает их содержание в исходном суглинке в 100–300 раз для цинка, в 10–70 раз для свинца, 5–40 никеля, в 10–40 раз для стронция. Таким образом, состав пыли определяет тренды накопления элементов в почвах.

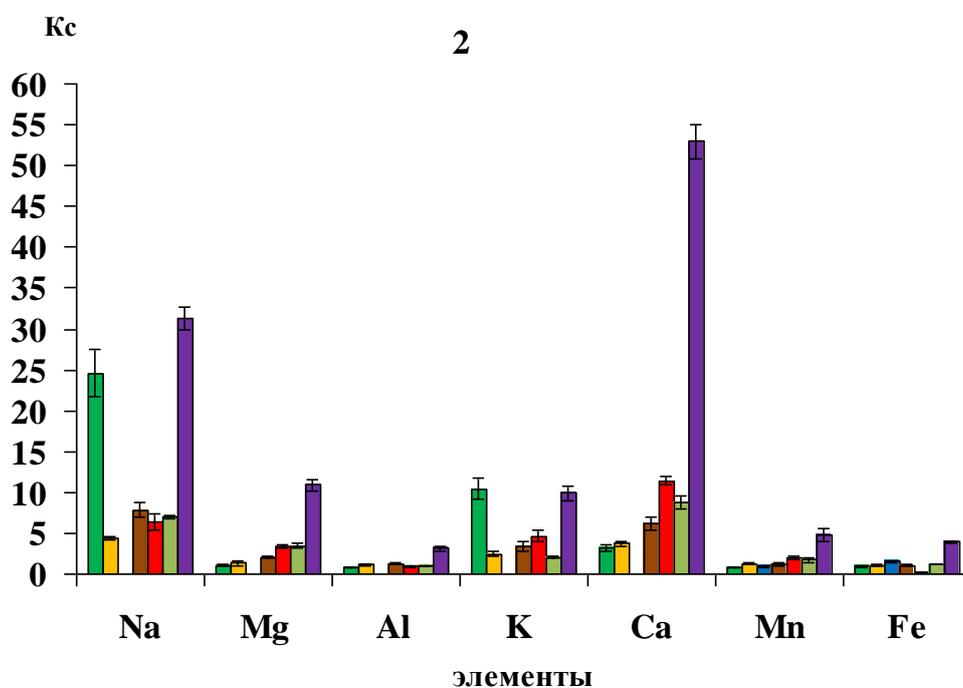
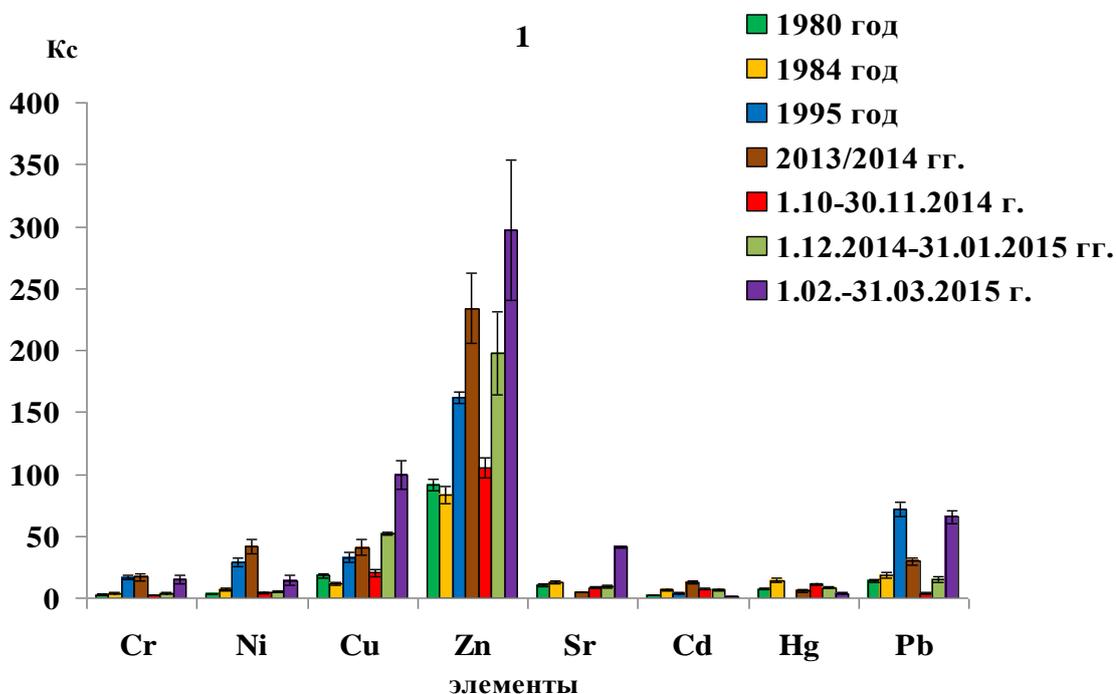


Рис.3. Коэффициенты концентрации (Кс) тяжелых металлов (1) и макроэлементов (2) в снеговой пыли, относительно исходного суглинка. (Данные 1995 г. по [Плеханова и др., 2003]).

3.5. Влияние атмосферных выпадений и свойств почв лизиметров на элементный состав растений

На накопление ТМ растениями огромное влияние оказывает обеспечение почвы питательными элементами. За годы наблюдений в лизиметрах произошло обогащение верхних слоев почвы питательными элементами за счет естественных процессов накопления биогенных элементов, а также за счет техногенных факторов и атмосферных выпадений, в результате чего меняется количество микро- и макроэлементов поступающих в растения (Золотарев, 2006).

Накопление элементов в растениях обусловлено поглощением их корневой системой из почвы, осаждением пыли и аэрозолей на поверхность растений из атмосферы, а также биологическими особенностями растений. Важную роль в защите растений от избытка, поступающих из почвы загрязняющих веществ, выполняет корневая система (Ильин, Сысо, 2001, Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Задерживая избыточные ионы, корни способствуют сохранению в наземных органах благоприятных концентраций химических элементов. Разные растения обладают неодинаковыми защитными способностями. Работы многих исследователей показали, что между элементным составом почв и растений существует определенная связь, однако она часто нарушается из-за избирательной способности элементов к накоплению. Отмечается, что, одни элементы поглощаются растениями более интенсивно, другие менее (Ильин, Сысо, 2001). Способность растений к поглощению элементов из почв оценивают по коэффициенту биологического поглощения (КБП), который равен отношению валового содержания элемента в сухом растении к его содержанию в корнеобитаемом слое почвы. Например, КБП свинца изменяется в пределах от 0,02 до 0,08, а кадмия от 0,11 до 0,3. Кроме того, Cr и Cu поглощаются менее активно, чем Ni и Pb. Однако в лизиметре со смешанными насаждениями наблюдается значительное поглощение Cr листьями и хвоей древесных насаждений по сравнению с другими лизиметрами.

В многочисленных исследованиях приводятся разные значения нормальных концентраций микроэлементов в растениях. Это связано с разнообразием геохимического фона почв, их различным минералогическим и гранулометрическим составом, биологическими особенностями растений и их отдельных частей, а также разными временными периодами. Сравнение полученных результатов с литературными данными показало, что содержание ТМ в растениях достигло верхней границы нормального содержания, а для Ni и Zn даже превысило ее. Таким образом, в растениях модельных фитоценозов отмечается повышенное содержание ТМ, однако защитные способности растений еще ограничивают поступление избыточного потока ТМ в растение (табл.4).

Таблица 4. Среднее содержание элементов в растениях лизиметров и коэффициенты биологического поглощения (КБП) тяжелых металлов растениями (в числителе - для макроэлементов г/кг, микроэлементов и ТМ - мг/кг (в сухой массе), в знаменателе - КБП)

Лизиметр	Образец	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Еловое насаждение	Хвоя ели	<u>0,03</u> 0,2	<u>0,28</u> 0,2	<u>2,55</u> 3,2	<u>3,53</u> 1,5	<u>0,14</u> 0,4	<u>0,17</u> 0,01	<u>2,046</u> 0,13	<u>4,31</u> 0,28	<u>2,59</u> 0,1	<u>36,5</u> 0,27	<u>0,07</u> 0,15	<u>0,93</u> 0,05
	Смешанное насаждение	<u>0,103</u> 0,47	<u>0,09</u> 0,17	<u>0,46</u> 0,5	<u>1,04</u> 0,33	<u>0,06</u> 0,15	<u>0,07</u> 0,004	<u>1,35</u> 11,59	<u>3,07</u> 0,15	<u>0,83</u> 0,03	<u>38,8</u> 0,28	<u>0,04</u> 0,18	<u>0,93</u> 0,03
	Листья дуба	<u>0,02</u> 0,09	<u>0,087</u> 0,05	<u>1,35</u> 1,48	<u>0,33</u> 0,11	<u>0,045</u> 0,11	<u>0,03</u> 0,002	<u>0,77</u> 6,61	<u>1,74</u> 0,09	<u>0,43</u> 0,01	<u>18,1</u> 0,13	<u>0,023</u> 0,1	<u>0,95</u> 0,03
	Листья клена	<u>0,08</u> 0,36	<u>0,24</u> 0,15	<u>2,15</u> 2,35	<u>3,01</u> 0,96	<u>0,084</u> 0,20	<u>0,09</u> 0,005	<u>0,57</u> 4,89	<u>1,59</u> 0,08	<u>0,89</u> 0,03	<u>17,03</u> 0,12	<u>0,036</u> 0,16	<u>0,54</u> 0,01
	Листья березы	<u>0,11</u> 0,5	<u>0,25</u> 0,15	<u>0,72</u> 0,79	<u>1,01</u> 0,32	<u>0,07</u> 0,17	<u>0,04</u> 0,002	<u>0,62</u> 5,32	<u>1,75</u> 0,09	<u>0,66</u> 0,02	<u>54,96</u> 0,4	<u>0,044</u> 0,2	<u>0,72</u> 0,02
Широколиственное насаждение	Листья рябины	<u>0,11</u> 0,5	<u>0,296</u> 0,18	<u>1,27</u> 1,39	<u>1,88</u> 0,60	<u>0,043</u> 0,10	<u>0,097</u> 0,006	<u>0,97</u> 8,33	<u>2,43</u> 0,12	<u>0,98</u> 0,03	<u>23,4</u> 0,17	<u>0,03</u> 0,14	<u>1,13</u> 0,03
	Листья дуба	<u>0,03</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,1	<u>0,97</u> 0,72	<u>0,85</u> 0,08	<u>0,081</u> 0,16	<u>0,06</u> 0,002	<u>1,77</u> 0,11	<u>4,96</u> 0,36	<u>1,27</u> 0,055	<u>42,44</u> 0,34	<u>0,082</u> 0,3	<u>2,68</u> 0,076
Многолетние травы	Листья клена	<u>0,11</u> 0,5	<u>0,465</u> 0,3	<u>2,59</u> 1,9	<u>2,21</u> 0,2	<u>0,25</u> 0,5	<u>0,11</u> 0,005	<u>0,92</u> 0,06	<u>3,26</u> 0,24	<u>2,20</u> 0,096	<u>23,77</u> 0,189	<u>0,043</u> 0,136	<u>1,08</u> 0,031
	Разногравье	<u>0,13</u> 0,55	<u>0,196</u> 0,13	<u>2,08</u> 2,2	<u>0,73</u> 0,13	<u>0,009</u> 0,032	<u>0,07</u> 0,003	<u>1,69</u> 0,11	<u>3,54</u> 0,27	<u>1,12</u> 0,04	<u>35,95</u> 0,20	<u>0,04</u> 0,13	<u>1,60</u> 0,60
Залежь	Разногравье	<u>0,12</u> 0,47	<u>0,07</u> 0,05	<u>0,99</u> 1,1	<u>0,31</u> 0,13	<u>0,011</u> 0,033	<u>0,03</u> 0,001	<u>1,25</u> 0,06	<u>2,15</u> 0,13	<u>0,47</u> 0,02	<u>21,11</u> 0,11	<u>0,03</u> 0,12	<u>0,93</u> 0,03

Примечание: среднее содержание элементов в растениях по данным (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989) для Cr - 0,03-0,6; Ni - 0,1-2,7; Cu - 2-20; Zn - 26-44; Cd - 0,05-0,4; Pb - 0,05-3. По данным (Минеев, 1990) для Cr - 0,2-1,0; Ni - 0,4-3,0; Cu - 2-12; Zn - 15-150; Pb - 0,1 - 5.

Древесные насаждения и многолетние травы лизиметров имеют повышенную зольность по сравнению с естественными насаждениями, особенно повышенное содержание кальция, что было отмечено в работах (Владыченский, Ульянова и др, 2000; Золотарев, 2006), а также микроэлементов и ТМ (табл.4). Это связано с тем, что лизиметрический эксперимент проводится в черте города, где имеет место значительное поступление Са и других зольных элементов с пылью и осадками как в почву, так и на поверхность растений (табл. 3, рис. 3).

3.6. Прогнозная оценка содержания микроэлементов и ТМ в почвах лизиметров по балансу их привноса-выноса

Проблема прогнозирования состояния окружающей среды и уровней загрязнения почв, является достаточно сложной, так как невозможно расчетным путем учесть в полной мере весь обширный комплекс действующих факторов. Поэтому в этих исследованиях часто применяется эмпирический метод, однако проверка правильности таких прогностических оценок представляется затруднительной. В таких случаях прогнозы строятся на расчете баланса привноса – выноса элементов за зимний период времени, т.к. снег является хорошим экраном для газопылевых выпадений и удобным объектом для исследования. Разница между поступлением и выносом элементов показывает масштабы их накопления в почвах.

Прогнозирование проводится с допущением того, что потоки загрязняющих веществ являются равномерными в течение года. Это допущение, конечно, не совсем правомерно, так как количество осадков, ритмы движения автотранспорта и работы предприятий меняются в течение года. Чтобы проверить правильность прогнозирования содержания элементов в почвах по балансу привноса-выноса нужно иметь сведения о содержании ТМ в почве до поступления в нее загрязняющих веществ, что, как правило, недостижимо, особенно в городских условиях, где часто происходит перемещение грунтов, планировка территории, подсыпка и раскапывание почв.

Уникальным объектом, в этом отношении, являются почвы лизиметров, которые позволили выявить реальное загрязнение почв за 49 лет, посчитать ежегодное среднее приращение содержания ТМ и сравнить его с данными, полученными при расчете поступления ТМ с атмосферными выпадениями и их выноса с лизиметрическими водами.

Сравнение показало, что прогнозные оценки значительно отличаются от реальных результатов (табл. 5). Особенно велика разница между реальным приращением содержания элементов и прогнозной оценкой для лизиметров под древесными и травянистыми насаждениями. Для лизиметров без растений эта разница в 1.5 – 3 раза, а для лизиметров под различными насаждениями в 7-12 и более раз. Для получения достоверных результатов прогнозной оценки среднегодового приращения содержания ТМ в почвах по балансу привноса-выноса необходимо учитывать характер фитоценоза и поступление элементов с растительным опадом, а также проводить наблюдения в течение всего года, так как потоки пыли в летний период времени увеличиваются, а

также увеличивается интенсивность движения автотранспорта, который является основным источником загрязнения почв.

Таблица 5. Приращение содержания металлов в почве (мг/кг) в год (в числителе – по результатам сравнительного анализа почв и исходного суглинка, в знаменателе – по балансу их привноса – выноса за зимний период)

Лизиметр	Глубина, см	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr
		мг/кг				
Чистый пар	0-10	<u>1,41</u>	<u>0,21</u>	<u>0,025</u>	<u>0,22</u>	<u>0,03</u>
		0,9	0,07	0,2	0,06	0,07
Еловые насаждения	3-13	<u>6,68</u>	<u>1,01</u>	<u>0,096</u>	<u>0,65</u>	<u>0,05</u>
		0,92	0,08	0,21	0,06	0,08
Широколиственные насаждения	2-10	<u>4,91</u>	<u>0,92</u>	<u>0,29</u>	<u>2,84</u>	<u>0,11</u>
		1,14	0,096	0,25	0,07	0,097
Смешанные насаждения	2-10	<u>6,39</u>	<u>1,31</u>	<u>0,45</u>	<u>1,93</u>	<u>0,13</u>
		1,14	0,095	0,21	0,07	0,096
Залежь	2-12	<u>4,4</u>	<u>0,41</u>	<u>0,065</u>	<u>0,65</u>	<u>0,03</u>
		0,92	0,076	0,21	0,056	0,08
Многолетние травы	1-11	<u>3,62</u>	<u>0,43</u>	<u>0,043</u>	<u>0,62</u>	<u>0,05</u>
		0,91	0,075	0,19	0,056	0,08

ВЫВОДЫ:

1. Почвообразование на бескарбонатном покровном суглинке за 49 лет под различными модельными фитоценозами привело: к уменьшению кислотности почв на 1 единицу рН по сравнению с исходным суглинком; формированию маломощных гумусовых горизонтов. В почвах под древесной растительностью сформировался горизонт подстилки под елью мощностью 0–3 см, под смешанными и широколиственными насаждениями подстилка разделилась на два подгоризонта. Под многолетними травами горизонт подстилки составил 0-1 см и под залежью 0-2 см. Наибольший запас надземной фитомассы характерен для древесных насаждений. Запас гумуса в почвах в большей степени зависит от доступности органического вещества и в травянистых фитоценозах он близок к запасу под древесными насаждениями.

2. Для поверхностных горизонтов почв отмечено облегчение гранулометрического состава: увеличение фракции песка и снижение содержания фракций грубого ила, крупной и мелкой пыли.

3. Скорость микробного продуцирования CO₂ и содержание микробной биомассы максимальны под смешанными насаждениями, затем следуют широколиственные, еловый насаждения, многолетние травы, залежь, а минимальные показатели характерны для почв под чистым паром. Доля С мик в составе органического углерода почв составила для широколиственного леса 2,7, смешанного леса 1,9, елового леса 1,2, залежи 0,9, многолетних трав 1,1, чистого пара 3,3%.

4. Максимальное накопление тяжелых металлов отмечается в подстилке и на глубине 2–15 см. Содержание Zn под древесной растительностью в 18–20 раз

больше, чем в исходном суглинке, под травянистой растительностью – в 14–16 раз, а для почв без растений – в 5 раз. Разница в масштабах накопления тяжелых металлов в почвах под модельными фитоценозами и в почвах без растений определяется биогенным накоплением и привносом за счет оседания пыли.

5. Большая часть ТМ поступает в составе твердой части осадков, содержание ТМ в которых значительно превышает их содержание в почвах, что приводит к обогащению почв этими элементами. Содержание элементов в пыли превышает их количество в исходном суглинке в 100–300 раз для цинка, в 10–70 раз для свинца, 5–40 никеля, в 10–40 раз для стронция. Состав и количество пыли определяют тренды накопления элементов в почвах.

6. Содержание ТМ в лизиметрических водах значительно меньше, чем в растворимой части снеговых осадков, что свидетельствует о прочной фиксации ТМ в почвах. Вместе с тем, и в лизиметрических водах, и в растворимой части атмосферных осадков наблюдается значительное содержание макроэлементов, таких как кальций, затем магний, натрий и калий и лишь часть этих элементов удерживается в почве.

7. Содержание ТМ в растениях достигло верхней границы фонового содержания, а для никеля и цинка даже превысило ее. Однако защитные способности растений еще ограничивают поступление избыточного потока ТМ в растение.

8. Прогнозная оценка загрязнения почв по результатам снеговой съемки дает заниженные данные содержания тяжелых металлов в почвах вследствие большой variability потоков атмосферных выпадений, отсутствия данных о выпадениях ТМ в летний период и отсутствия учета влияния растительности на распределение и накопление элементов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТИЦИИ:

1. Абросимова Г.В. Особенности формирования почв в условиях города // Ломоносов – 2014: XXI Международная конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам; секция «Почвоведение». – М.: МАКС Пресс, 2014. С. 62-64.

2. Абросимова Г.В. Влияние химического состава атмосферных осадков на особенности формирования почв в условиях города (на примере лизиметров почвенного стационара МГУ) // Ломоносов – 2015: XXI Международная конференция студентов и аспирантов по фундаментальным наукам; секция «Почвоведение». – М.: МАКС Пресс, 2015. С. 49-50.

3. Абросимова Г.В. Влияние атмосферных выпадений на микроэлементный состав почв модельных экосистем почвенных лизиметров // Ломоносов – 2016: XXI Международная конференция студентов и аспирантов по фундаментальным наукам; секция «Почвоведение». – М.: МАКС Пресс, 2016. С. 47-48.

4. Абросимова Г.В. Влияние химического состава атмосферных осадков на особенности формирования почв в условиях города (на примере лизиметров почвенного стационара МГУ) // Почва – зеркало ландшафта: XIX Международной научной конференций; секция «Почвоведение». – Санкт-Петербург, 2016, С. 54-55.

5. Абросимова Г.В., Плеханова И.О. // Биогеохимические особенности формирования почв в условиях города Москвы, Международная конференция Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана), М.: 2016.

6. «Охрана почв и земель»: коллективная монография // под общ. ред. Яковлева А.С., Макарова О.А., Рыбальского Н.Г. – М.: НИИ – Природа, 2015.-556 с.

7.* Плеханова И.О., Абросимова Г.В. Особенности формирования микроэлементного состава и свойств почв модельных фитоценозов почвенных лизиметров //Почвоведение, 2016, № 4, С. 420-433.

8.* Плеханова И.О., Абросимова Г.В. Влияние атмосферных выпадений на микроэлементный состав почв модельных экосистем почвенных лизиметров // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2016, № 3, С. 47-53.

9.* Плеханова И.О., Абросимова Г.В. Влияние атмосферных выпадений на микроэлементный состав почв и растений модельных экосистем лизиметров // Экология и промышленность России. 2016, № 8, С. 56-63.

Примечание * - работы, опубликованные в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК РФ.