На правах рукописи

НОВИКОВ Сергей Геннадьевич

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО КАТЕГОРИЯМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА)

03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Петрозаводск – 2014

Работа выполнена в лаборатории лесного почвоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института леса Карельского научного центра Российской академии наук

Научный руководитель	доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Федорец Наталия Глебовна**
Официальные оппоненты:	**Кашулина Галина Михайловна** доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, заведующая лабораторией почвоведения
	Теребова Елена Николаевна кандидат биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Петрозаводский государственный университет, доцент кафедры ботаники и физиологии растений
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН)

Защита диссертации состоится 28 мая 2014 г в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.190.01 при Петрозаводском государственном университете по адресу: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Красноармейская, 31, эколого-биологический факультет, тел. факс: 8(8142)763864.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.petrsu.ru Петрозаводского государственного университета, с авторефератом – на сайте http://vak.ed.gov.ru и www.petrsu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
канд.биол.наук Дзюбук И. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. На урбанизированных территориях интенсивная застройка, промышленная деятельность и высокая плотность автотранспорта на дорогах способствуют накоплению в биосфере различных поллютантов.

Почва является важнейшей составляющей экосистемы, которая аккумулирует химические загрязняющие вещества. Среди многочисленных загрязнителей особое место занимают тяжелые металлы, они связываются с минеральными и органическими соединениями, что повышает общий уровень токсичности почвы, но в то же время обусловливает одну из ее экологических функций – образование барьера на пути поллютантов в грунтовые воды.

Тяжелые металлы опасны тем, что имеют способность к биоаккумулированию, то есть накоплению в тканях живых организмов, и при избыточных концентрациях проявляют свои токсические свойства. Очевидно, что в условиях городов проведение экологического мониторинга почв для контроля концентраций поллютантов и оценки экологического состояния территории является актуальной задачей.

На территории города Петрозаводска ранее проводились исследования некоторых экологических характеристик почв (Федорец, Медведева, 2005; Рыбаков и др. 2013). Однако в настоящей работе впервые рассматривается загрязнение городских почв тяжелыми металлами по категориям землепользования. По данным А.К. Евдокимовой (Евдокимова, 1986) при изменении типа землепользования в разные времена происходит накопление субстратов с различными свойствами, в том числе и тяжелых металлов. Одним из важнейших этапов исследования являлось составление тематических картосхем содержания тяжелых металлов в верхнем десятисантиметровом слое почв. Карта была и остается наиболее эффективным способом показа любых явлений, характеристики которых изменяются в пространстве (Стурман, 2003).

Цель работы: экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами и серой почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска с применением картографического метода.

Задачи исследования.

1. Провести зонирование территории г. Петрозаводска, выделить категории землепользования и типы городских почв.
2. Определить валовое содержание и содержание различных форм соединений тяжелых металлов в почвах.
3. Составить карты современной экологической ситуации на территории г. Петрозаводска по уровню загрязнения почв тяжёлыми металлами.
4. Выявить особенности внутрипрофильного распределения тяжелых металлов в почвах.
5. Обосновать необходимость организации экологического мониторинга почв на территории г. Петрозаводска для охраны здоровья населения.

Научная новизна проведенных исследований заключается в том, что для города Петрозаводска впервые выделены таксономические единицы городских почв, выявлены особенности их антропогенной трансформации и построены картосхемы их загрязнения тяжелыми металлами (Pb, Cu, Ni, Co, Zn, Cr, Mn), дана экологическая оценка комплексного загрязнения почв ассоциацией тяжелых металлов на исследуемой территории.

Практическая значимость работы. Использование в процессе проводимых исследований ГИС-технологий позволило получить достоверные данные и объективно отобразить экологическое состояние почв на территории г. Петрозаводска. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций, направленных на оздоровление и сохранение окружающей среды.

Личный вклад автора в получении научных результатов. Автор лично принимал участие на всех этапах подготовки и проведения полевых и лабораторных исследований, а также при проведении статистической обработки полученных данных, их интерполяции (составление тематических карт) и интерпретации.

Связь работы с научными программами. Исследования выполнены в рамках научно-исследовательских тем Института леса КарНЦ РАН «Генетические особенности лесных почв Северо-запада России, оценка их плодородия и экологического состояния на основе информационно-аналитических систем» (2011-2012), «Генетические особенности естественных и антропогенно нарушенных почв Северо-запада России», а также Регионального гранта РФФИ № 13-05-98817 «Разработка основ комплексного геоэкологического мониторинга северных урбанизированных территорий».

Апробация работы. Материалы по теме диссертации были представлены и доложены на Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие АПК: рациональное природопользование и инновации» (Петрозаводск, 2011); Международной научно-практической конференции «Ресурсный потенциал растениеводства – основа обеспечения продовольственной безопасности (Петрозаводск, 2012)»; Международной научной конференции «XV Докучаевские молодежные чтения: Почва как природная геомембрана» (Санкт-Петербург, 2012); Международной научной конференции «XVI Докучаевские молодежные чтения: Законы почвоведения: новые вызовы» (Санкт-Петербург, 2013); IV Международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв», посвященной 150-летию В.И. Вернадского (Москва, 2013).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК и 6 - в материалах международных конференций и других изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов и списка литературы. Изложена на 150 страницах текста, содержит 21 таблицу, 27 рисунков. Список литературы включает 174 источника, из них – 38 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук Н. Г. Федорец. Особую признательность автор выражает кандидату биологических наук Г. В. Ахметовой и другим сотрудникам лаборатории лесного почвоведения за консультации и помощь в проведении полевых и камеральных работ, а также сотрудникам аналитической лаборатории ИЛ КарНЦ РАН.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Представлен обзор литературных источников, посвященных проблеме загрязнения городских почв тяжелыми металлами и серой, а также особенностям их формирования в условиях урбанизации под воздействием техногенного пресса. Проанализирована методическая литература и выделены основные этапы оценки загрязнения почв тяжелыми металлами. Рассмотрены возможные методы ремедиации загрязненных почв, которые применяются в настоящее время.

Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись антропогенно преобразованные почвы г. Петрозаводска. Административные границы города включают в себя всё побережье Петрозаводской губы Онежского озера. Однако основной массив урбанизированной территории находится на юго-восточном побережье, где и проводились наши исследования. Промышленность города представлена машиностроением, металлообработкой, лесной, деревообрабатывающей, строительной, пищевой, лёгкой и полиграфической отраслями. На карте города (рис. 1.) показаны границы обследуемой территории, основные кадастровые районы, а так же наиболее крупные промышленные объекты, действующие как в настоящее, так и в прошлое время.

На территории города отобрано 96 смешанных почвенных проб из верхнего 10-ти сантиметрового слоя. Для наиболее репрезентативного отбора образцов на карту города нанесли сетку с размером ячеек 1 км^2. В условиях плотной городской застройки местность подвержена быстрым изменениями, большая часть почвы находится под асфальтовым покрытием, что делает невозможным отбор почвенных образцов строго по узлам сетки. Она служила лишь ориентировочными границами, чтобы с 1 км^2 был отобран как минимум 1 почвенный образец. Непосредственно выбор мест опробования проводился при выполнении полевых работ с учетом рекомендаций (Стурман, 2003). Отбор почвенных проб осуществлялся с площадок 10*10 м, методом «конверта».

Районы города: 1. Центр. Центральный район. 2. Октябрьский. 3.Первомайский. 4. Железнодорожный. 5. Перевалка. 6. Кукковка. 7. Голиковка. 8. Зарека. 9. Ключевая. 10. Сайнаволок. 11. Южная промзона. 12. Птицефабрика. 13. ТИЗ «Усадьбы». 14. Древлянка. 15. Университетский городок. 16. Рыбка. 17. Сулажгора. 18. Северная промзона. 19. Пески. 20. Соломенное.

Промышленные и энергетические объекты: I. Онежский тракторный завод (1703-2008 гг). II. ПМЗ «Авангард». III. ПетрозаводскМаш. IV. Петрозаводская ТЭЦ. V. Шунгизитовый завод (в настоящее время неактивен) и другие производственные сооружения. VI. Промзона (Петрозаводский хлебокомбинат, Ликёро-водочный завод «Петровский» и др.)

– граница обследуемой территории

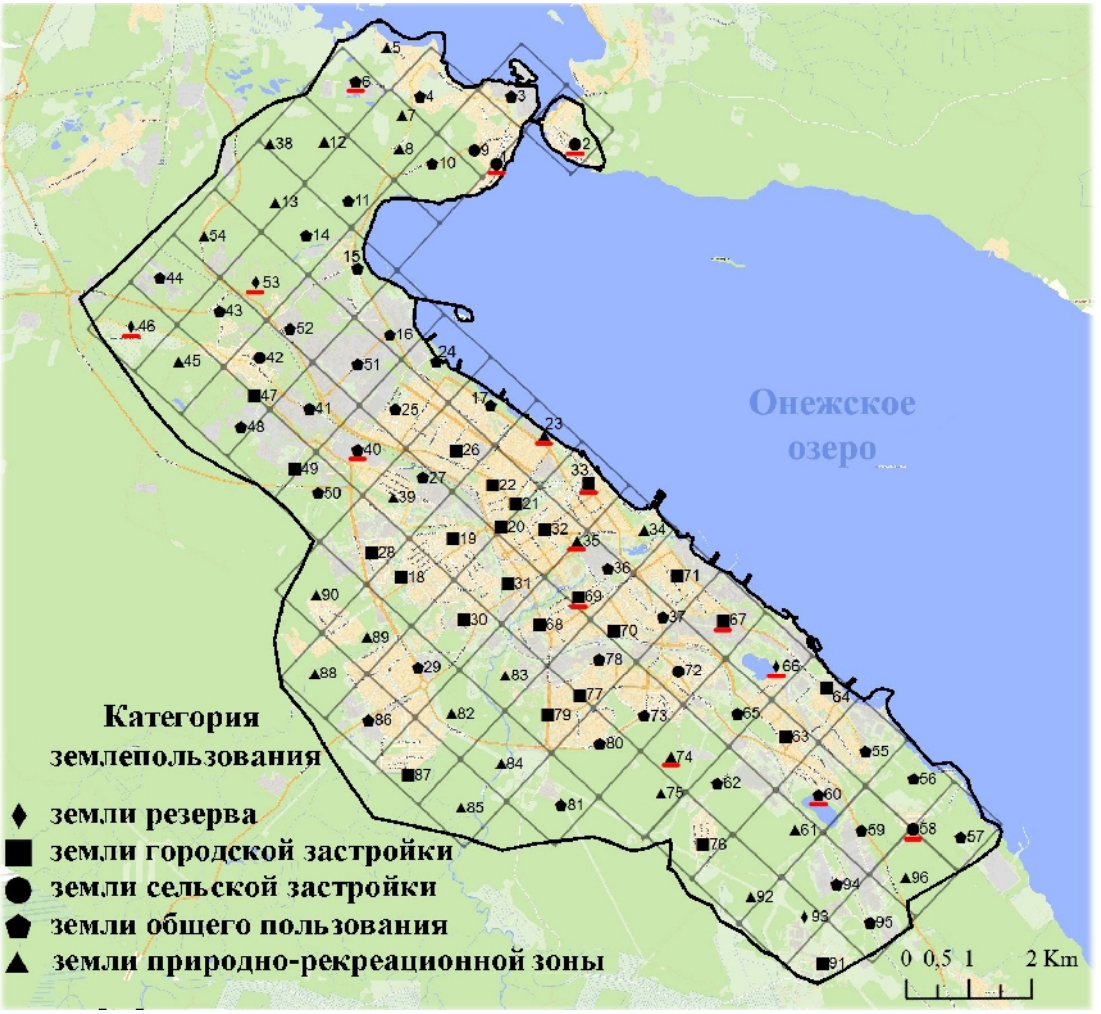
Рис. 1. Карта города Петрозаводска

На территории города выделили следующие категории землепользования, в соответствии с рекомендациями (Почва, город…, 1997; Федорец, Медведева, 2009):

- земли городской и сельской застройки – жилая часть (внутридворовые пространства, скверы, детские сады, школы и т.д.);
- земли общего пользования – промышленная зона (заводы, автохозяйства, ТЭЦ, склады, АЗС, крупные автодороги, аэропорты, железные дороги и т.д.);
- земли природно-рекреационной зоны (городские леса, лесопарки, парки, бульвары, скверы и т.д.);
- земли резерва (пустыри, свалки, карьеры).

В результате проделанной работы получили картосхему с нанесёнными точками отбора почвенных проб на землях различных категорий землепользования (рис. 2).

В почвенных образцах определялись кислотно-щелочные свойства, валовое содержание тяжелых металлов (методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии) и серы (спектрофотометрический метод).



– места заложения почвенных разрезов

– граница обследуемой территории

– сетка с площадью ячеек в 1 км^2

Рис. 2. Точки отбора почвенных проб на территории города Петрозаводска

Расчет комплексного показателя суммарного загрязнения Zc производили с учетом коэффициентов токсичности и среднего геометрического коэффициентов концентрации тяжелых металлов (Водяницкий, 2010).

Для сравнения загрязнения урбанизированной территории с естественными почвами использовали среднее содержание тяжелых металлов в минеральных подподстилочных горизонтах почв Карелии (региональный фоновый показатель) (Федорец и др., 2008), а также уровни предельно допустимых концентраций (ПДК) валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов в почве (Гигиенические нормативы…, 2006; Рэуце, Кырстя, 1986).

Для составления тематических карт пространственного распределения тяжелых металлов в почве и по показателю суммарного загрязнения Zc, проводили интерполяцию полученных данных при помощи программного пакета ArcGIS ArcMap по методу Крикинга (ординарный крикинг). Для получения репрезентативных результатов из набора значений исключали точки с экстремальными значениями, которые определяли по облаку вариограммы/ковариации, в соответствии с рекомендациями, изложенными в руководстве пользователя ArcGIS Geostatistical Analyst. Такие точки на тематических картосхемах выделены красным цветом. При составлении шкал для картосхем в качестве верхней границы выбраны значения ПДК поллютантов в почве и использован равномерный шаг.

С целью изучения радиального распределения валового содержания и различных форм тяжелых металлов (извлекаемые вытяжкой «Aqua Regia», подвижные и водорастворимые формы) и определения типа почв, на территории города заложено 15 почвенных разрезов: по 3 на каждой категории землепользования. Места заложения разрезов определялись высоким содержанием того или иного поллютанта. На землях резерва и сельской застройки, за исключением одной точки, содержание всех изучаемых элементов находится в пределах ПДК, поэтому в данном случае разрезы заложены на пробных площадях, выбранных случайным образом. Для идентификации городских почв использовали классификацию, предложенную учеными Московского Государственного Университета (Почва, город, экология, 1997). Для почв, сохранивших естественное строение, таксономическая принадлежность устанавливалась по региональной классификации (Морозова, 1991).

Из каждого выделенного почвенного горизонта проводили отбор образцов, в которых определяли:

- кислотно-щелочные показатели, содержание гумуса и элементов минерального питания (Агрохимические методы…, 1975, Аринушкина, 1973);
- содержание тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии:
  - валовое содержание, с предварительным автоклавным разложением в смеси концентрированных кислот (HNO_3, HCl, HF);
  - в вытяжке «Aqua Regia» – смесь концентрированных азотной HNO_3 и соляной HCl кислот, взятых в соотношении 1:3 по объёму;
  - подвижные формы Ni, Zn, Cr, Cu, Co, Mn в вытяжке аммонийно-ацетатного буфера при pH 4,6-4,8; Pb – 1 N раствора хлористого аммония (Руководство…, 1993);
  - водорастворимые формы в вытяжке бидистиллированной водой;
- валовое содержание серы спектрофотометрическим методом.

Математическая обработка результатов проводилась при помощи программ Microsoft Excel 2003, Statistica 6 и включала в себя вычисление статистических параметров: различные методы усреднения (среднее арифметическое, среднее геометрическое, медиана), стандартное отклонение, стандартная ошибка среднего, коэффициент вариации.

Глава 3. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И СЕРЫ В ПОЧВАХ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА

3.1. Содержание свинца в почвах города Петрозаводска

Высоким содержанием свинца характеризуется северо-западная и центральная часть города с развитым промышленным сектором, повышенной плотностью автомобильного трафика и, соответственно, большой антропогенной нагрузкой на почвы (рис. 3). Наиболее загрязнены свинцом почвы на землях категории общего пользования (до 170,3 мг/кг) и городской застройки (до 441,8 мг/кг). Наименьшие показатели характерны для почв земель резерва (до 22,3 мг/кг), ввиду удаленности от центральных районов города. Также невысокие значения характерны для земель природно-рекреационной зоны, особенно для пробных площадей, расположенных в пригородных лесах. Здесь содержание свинца превысило ПДК (32 мг/кг) лишь на одной пробной площади, заложенной на территории небольшой несанкционированной свалки (53,8 мг/кг). Высокие показатели отмечены в зеленой зоне центральной части города (102 мг/кг) и искусственно созданном парке «Ямка» (202,8 мг/кг).

Среднее содержание свинца в почвах города составляет 35,3 мг/кг, что незначительно превышает ПДК, но в 2 раза выше регионального фона, составляющего 15,5 мг/кг. Среднее геометрическое значение равно 23 мг/кг, что немного превышает региональный фоновый показатель, но значительно ниже ПДК. Медианы содержания свинца в почвах на землях общего пользования (20 мг/кг), городской (20,9 мг/кг) и сельской (24,7 мг/кг) застройки несколько превышают региональный фон, в то время как для почв природно-рекреационной зоны (18,3 мг/кг) и земель резерва (15,1 мг/кг) характерны значения, близкие к среднему содержанию элемента в почвах Карелии.

3.2. Содержание цинка в почвах города Петрозаводска

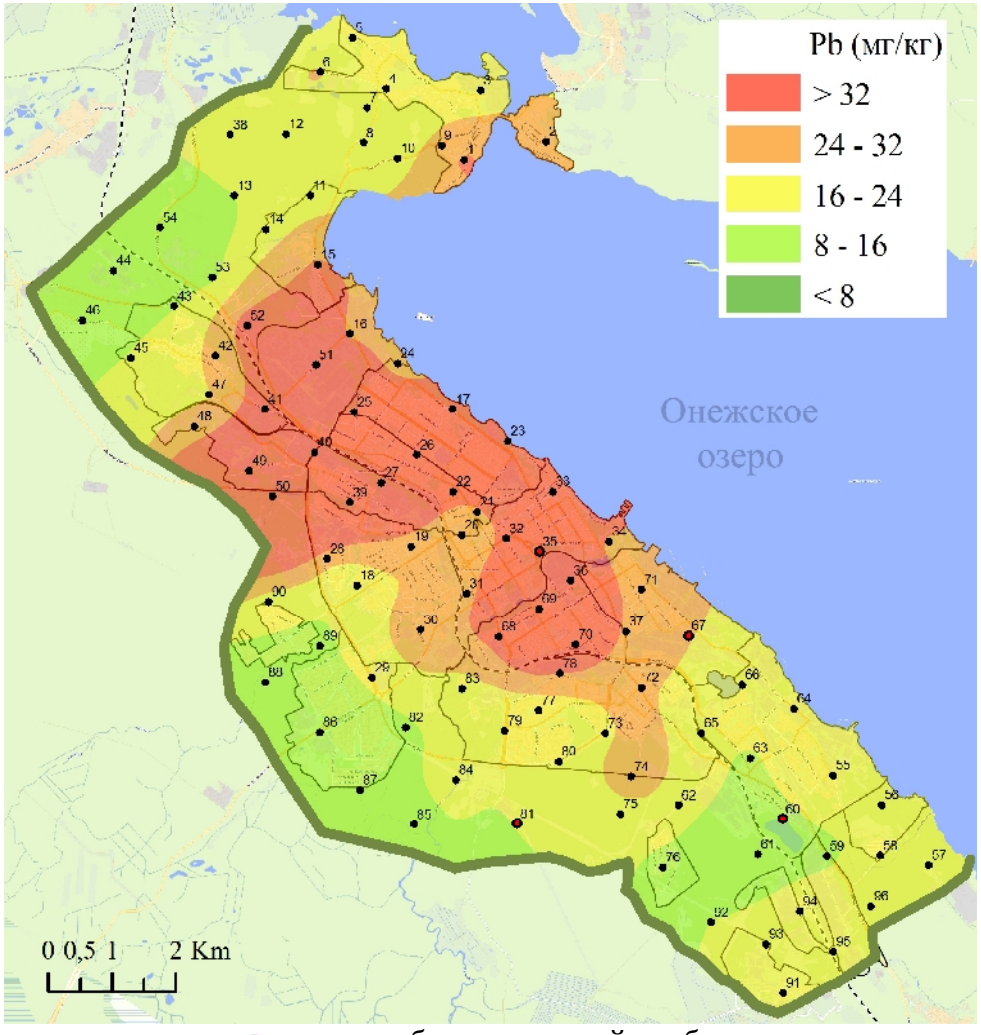
Содержание цинка в почвах г. Петрозаводска (рис. 4) не превышает ПДК (300 мг/кг) и колеблется от 18,6 до 136,5 мг/кг. Наиболее высокой концентрацией характеризуются почвы на землях городской застройки. Среднее содержание цинка в почвах города составляет 69,9 мг/кг, что намного ниже ПДК, но превышает фоновый показатель (37,2 мг/кг). Среднее геометрическое значение составляет 63,5 мг/кг. Медиана концентрации цинка на всех выделенных категориях также выше уровня фона. На территории города прослеживается слабая тенденция к накоплению цинка на урбанизированной территории, включая промышленные зоны. Исключение составляют районы, удаленные от центра города.

3.3. Содержание никеля в почвах города Петрозаводска

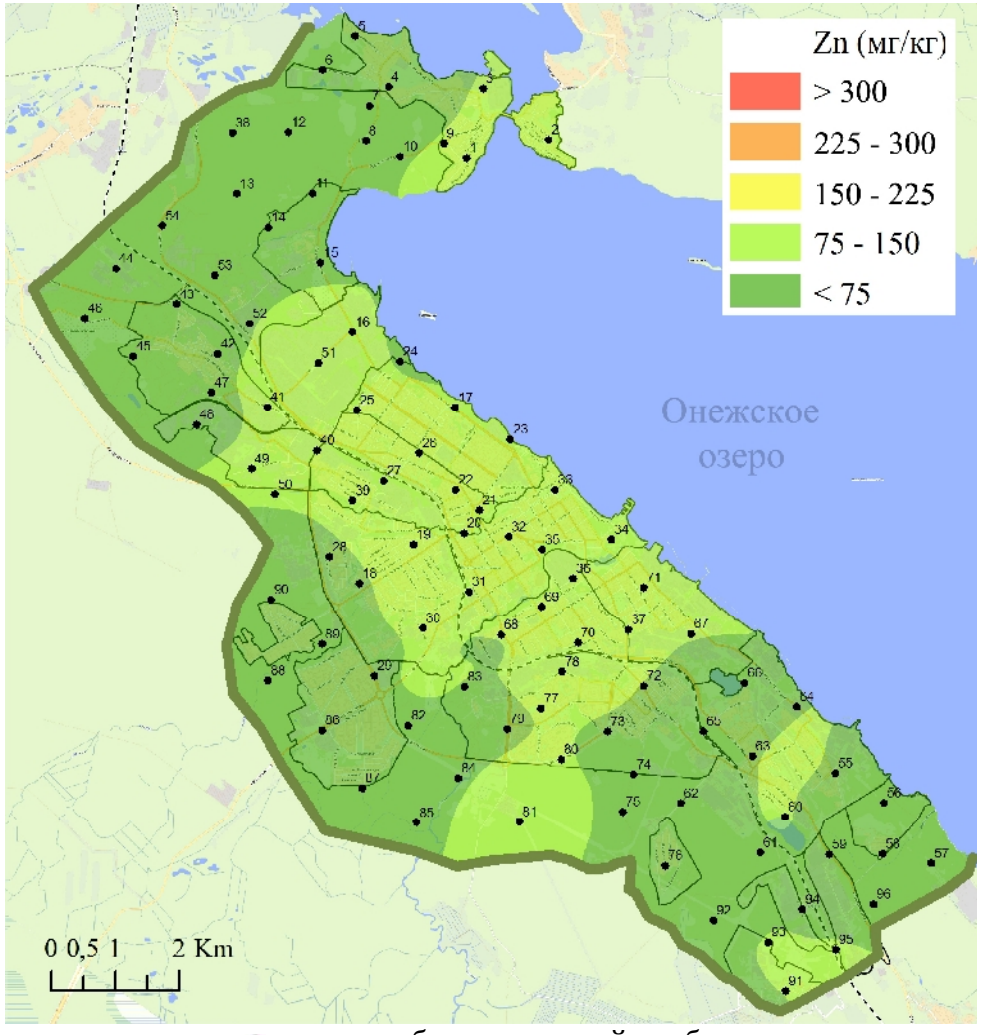
В целом по территории г. Петрозаводска концентрация никеля изменяется от 5 до 122 мг/кг. Проявляется тенденция к накоплению никеля в почвах центральной и южной части города, включая пригородные леса, а также в почвах, прилегающих к промышленным зонам (рис. 5). Среднее арифметическое (25,9 мг/кг) и геометрическое (23,1 мг/кг) значения концентрации никеля в почвах находятся в пределах регионального фона, составляющего 27,5 мг/кг. Концентрация никеля в большей части почвенных проб находится ниже уровня ПДК (50 мг/кг). Значение медианы содержания никеля в почвах города для всех категорий землепользования ниже уровня регионального фона.

3.4. Содержание хрома в почвах города Петрозаводска

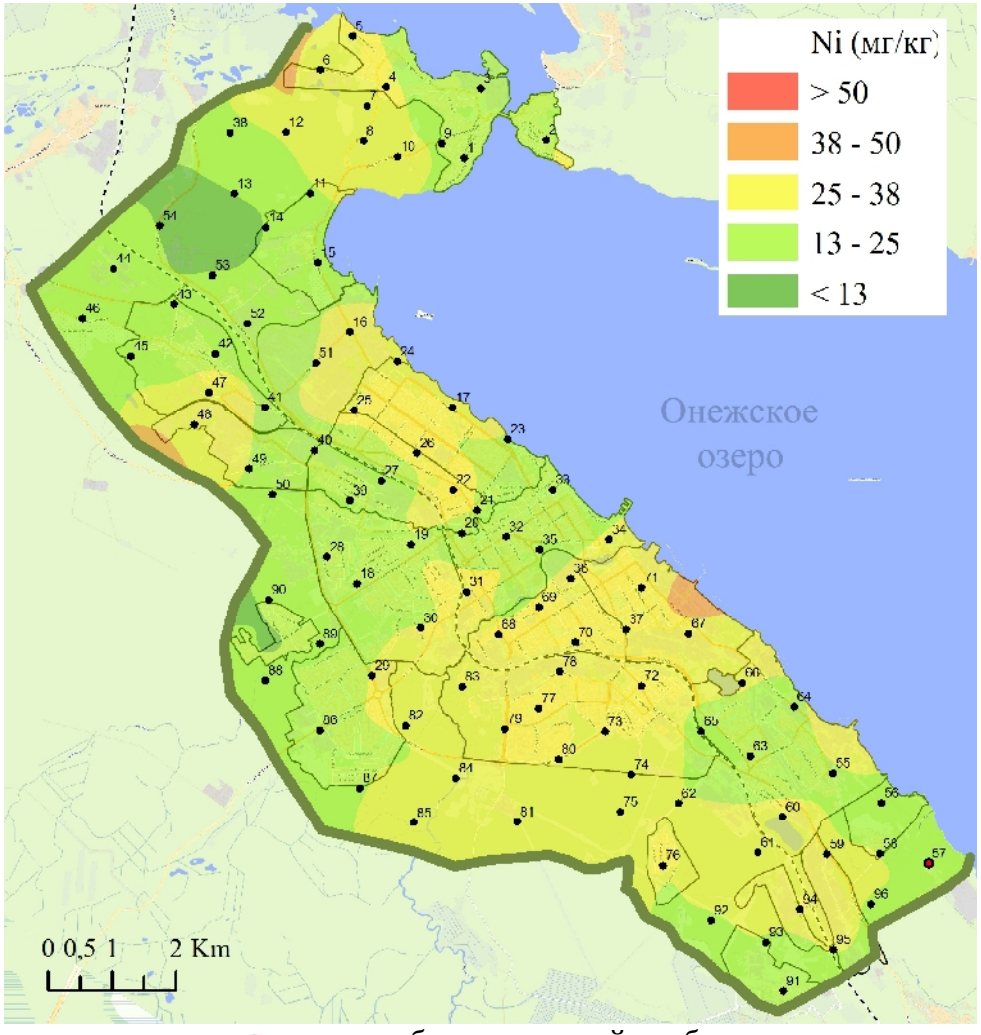
Содержание хрома в почвах города Петрозаводска варьируется от 7,2 до 79 мг/кг, что не превышает уровень ПДК (100 мг/кг) (рис. 6). Основной массив данных находится в пределах 50 мг/кг. Среднее значение содержания хрома – 29,9 мг/кг, что в 3 раза меньше ПДК. Среднее геометрическое – 27,4 мг/кг. Оба показателя ниже регионального фонового значения – 47,3 мг/кг. Медиана по содержанию хрома в почвах города Петрозаводска также находится ниже уровня фона, независимо от категории землепользования.



● – точка отбора почвенной пробы
● – точка с экстремальным значением
Рис. 3. Картосхема содержания свинца
в почвах города Петрозаводска

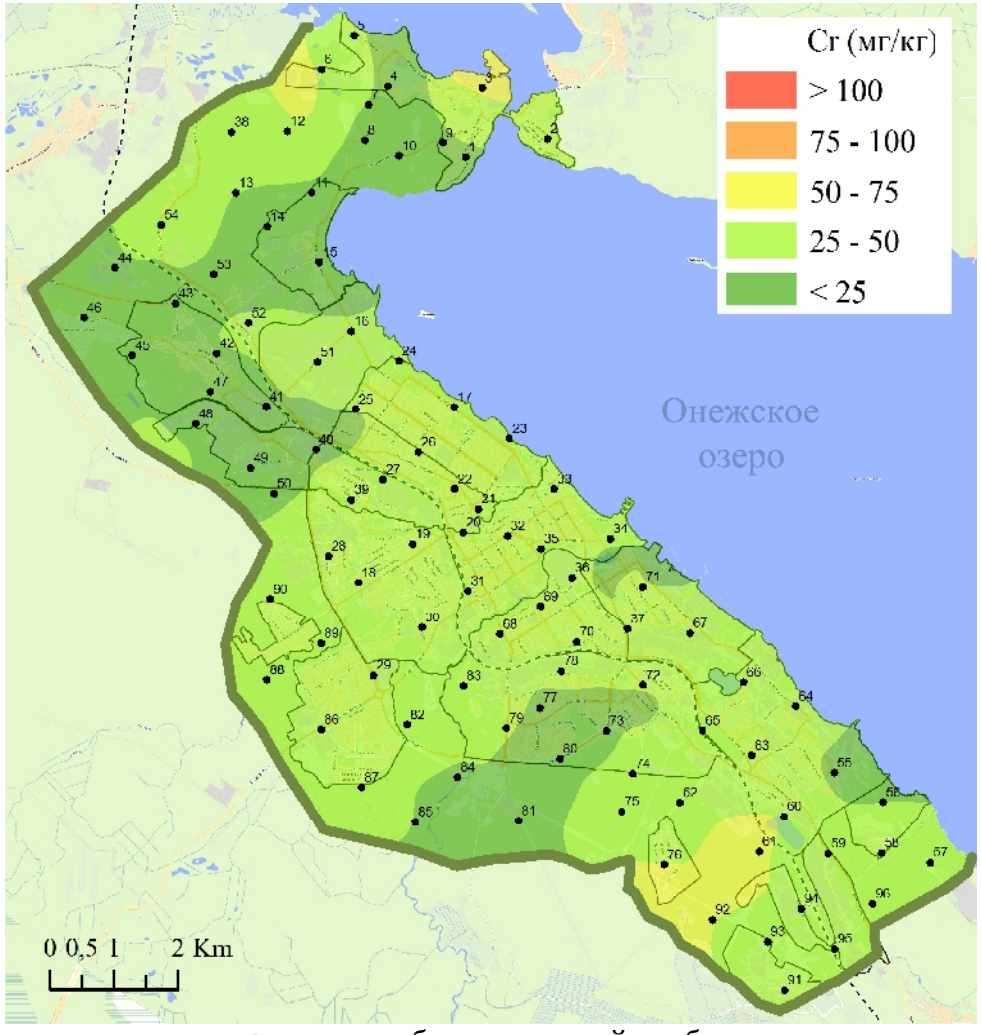


● – точка отбора почвенной пробы
Рис. 4. Картосхема содержания цинка
в почвах города Петрозаводска



● – точка отбора почвенной пробы
● – точка с экстремальным значением

Рис. 5. Картосхема содержания никеля
в почвах города Петрозаводска

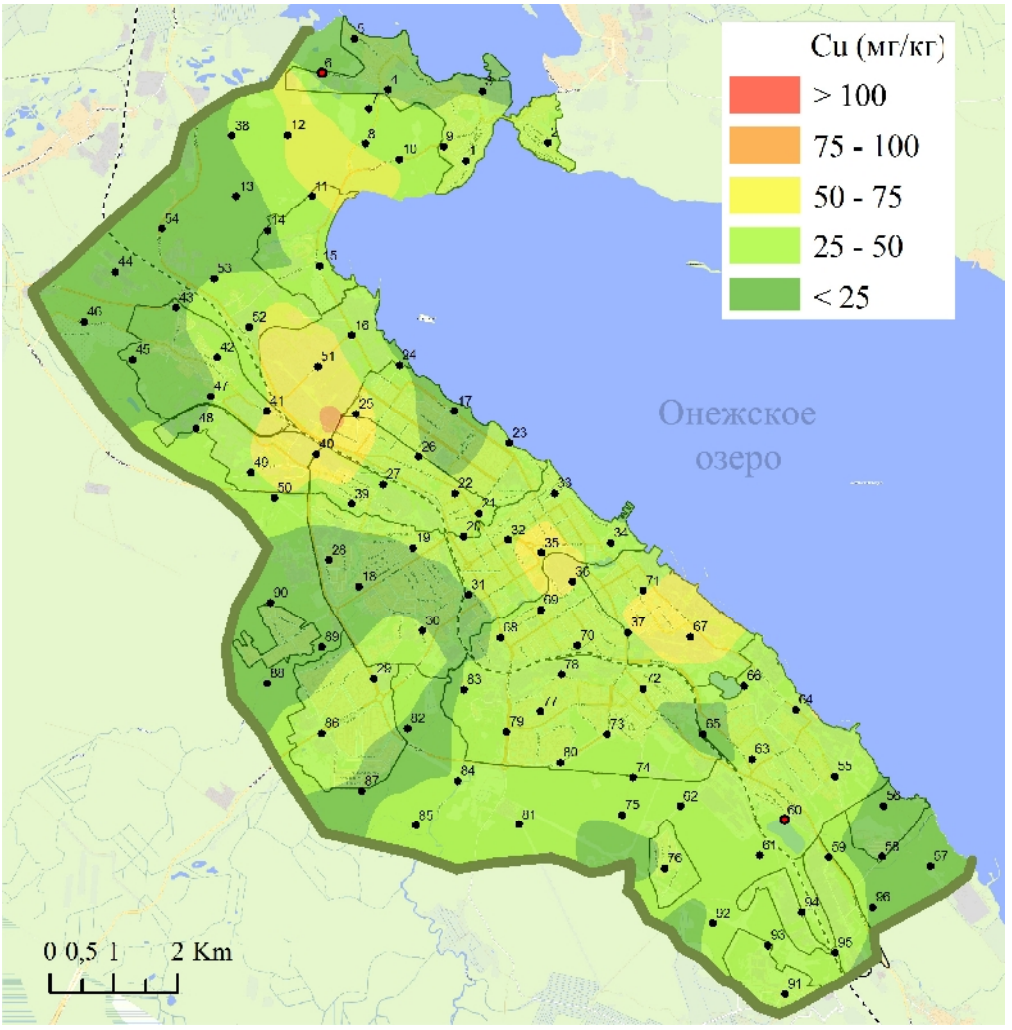


● – точка отбора почвенной пробы

Рис. 6. Картосхема содержания хрома
в почвах города Петрозаводска

3.5. Содержание меди в почвах города Петрозаводска

В целом почвы города не загрязнены медью. Значение ПДК (100 мг/кг) превышено лишь в двух точках на территории города. Выявлена тенденция к накоплению данного элемента вблизи промышленных объектов на землях категории общего пользования (рис. 7). Среднее содержание меди в почвах города Петрозаводска составляет 35,4 мг/кг, что в два раза превышает региональное фоновое значение, составляющее 18,5 мг/кг. Среднее геометрическое для концентрации меди в почвах города – 29,1 мг/кг, что также превышает значение фона. Медианы содержания меди в почвах природно-рекреационной зоны (21,1 мг/кг) и земель резерва (22,8 мг/кг) наиболее близки к фоновому показателю по сравнению с другими категориями землепользования.



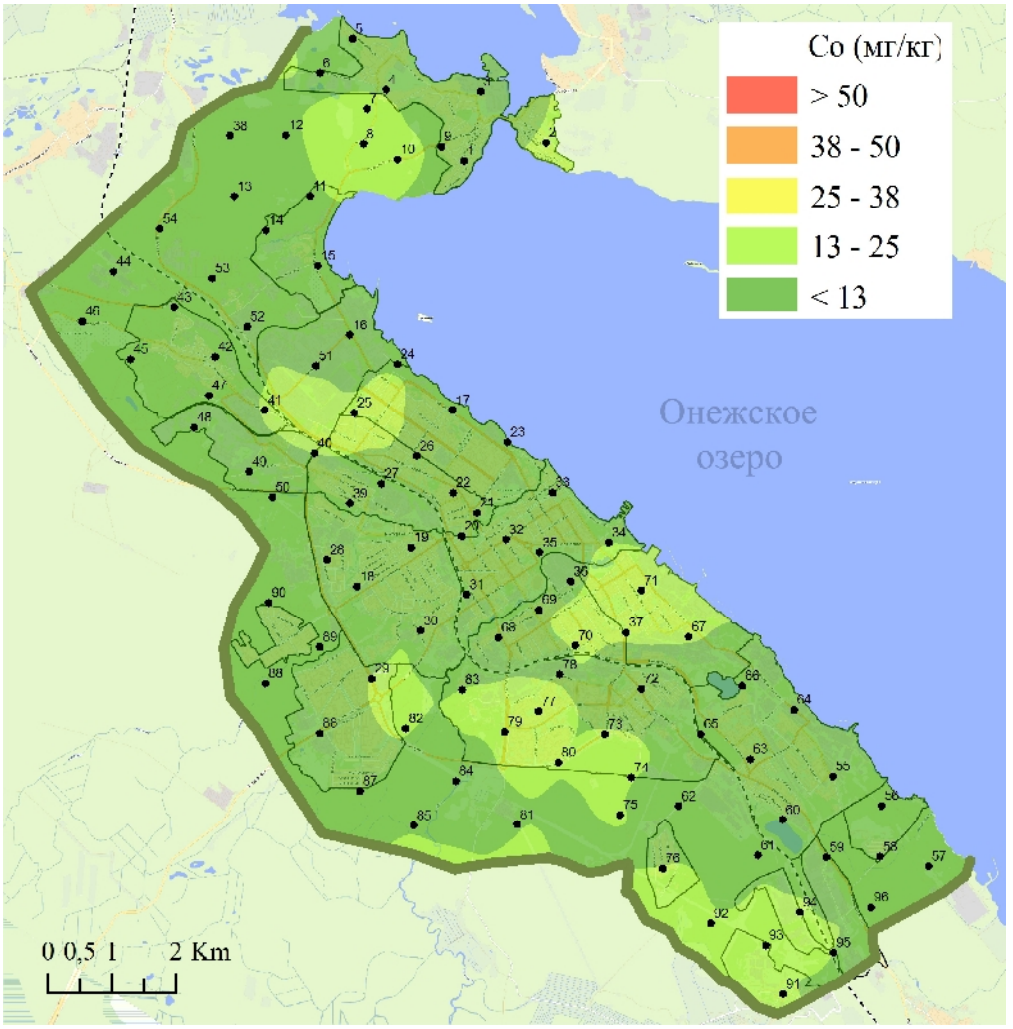
● – точка отбора почвенной пробы

● – точка с экстремальным значением

Рис. 7. Картосхема содержания меди в почвах города Петрозаводска

3.6. Содержание кобальта в почвах города Петрозаводска

Концентрация кобальта в почвах города Петрозаводска не высока и варьирует от 3,9 до 32,9 мг/кг (рис. 8). Среднее значение составляет 10,6 мг/кг, что близко к региональному фоновому содержанию – 11,6 мг/кг. Среднее геометрическое значение равно 9,8 мг/кг. Медиана содержания кобальта ниже фона независимо от категории землепользования. Уровень ПДК (50 мг/кг) не превышен ни в одном почвенном образце.



● – точка отбора почвенной пробы

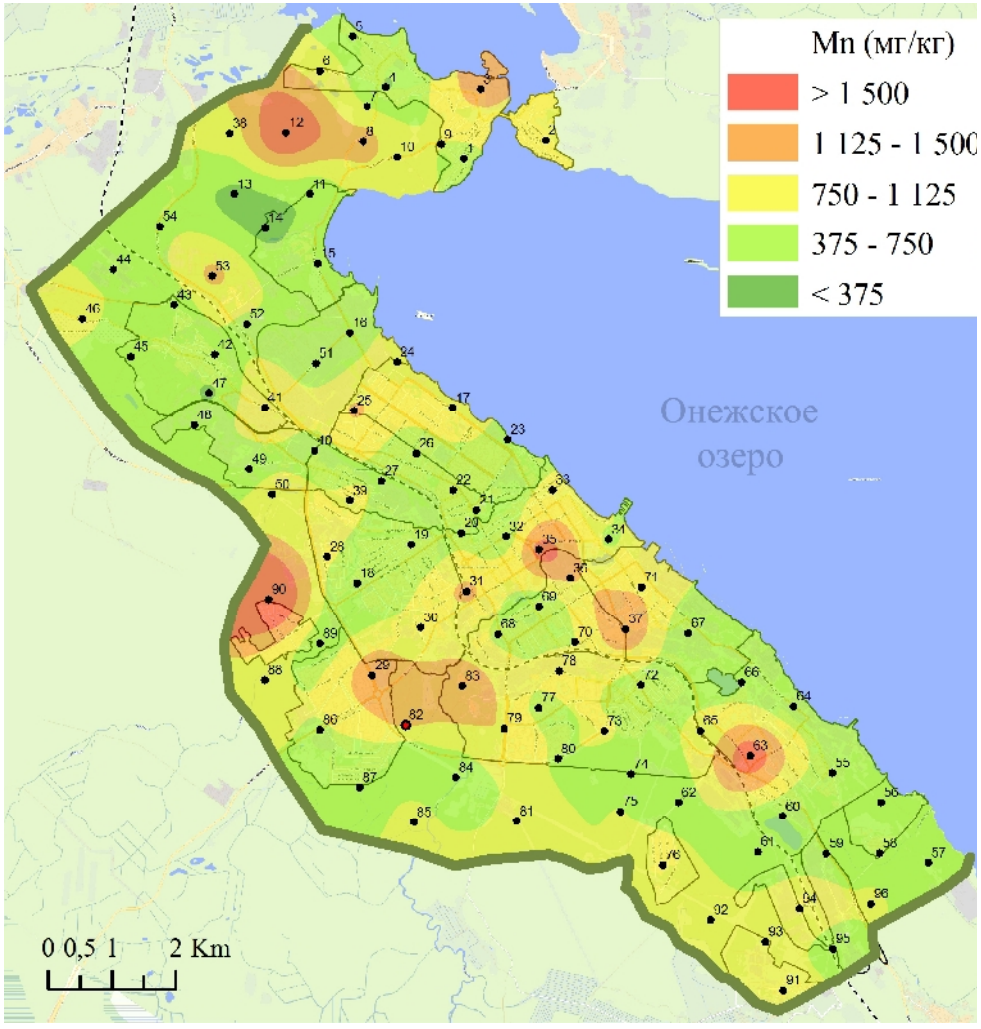
Рис. 8. Картосхема содержания меди в почвах города Петрозаводска

3.7. Содержание марганца в почвах города Петрозаводска

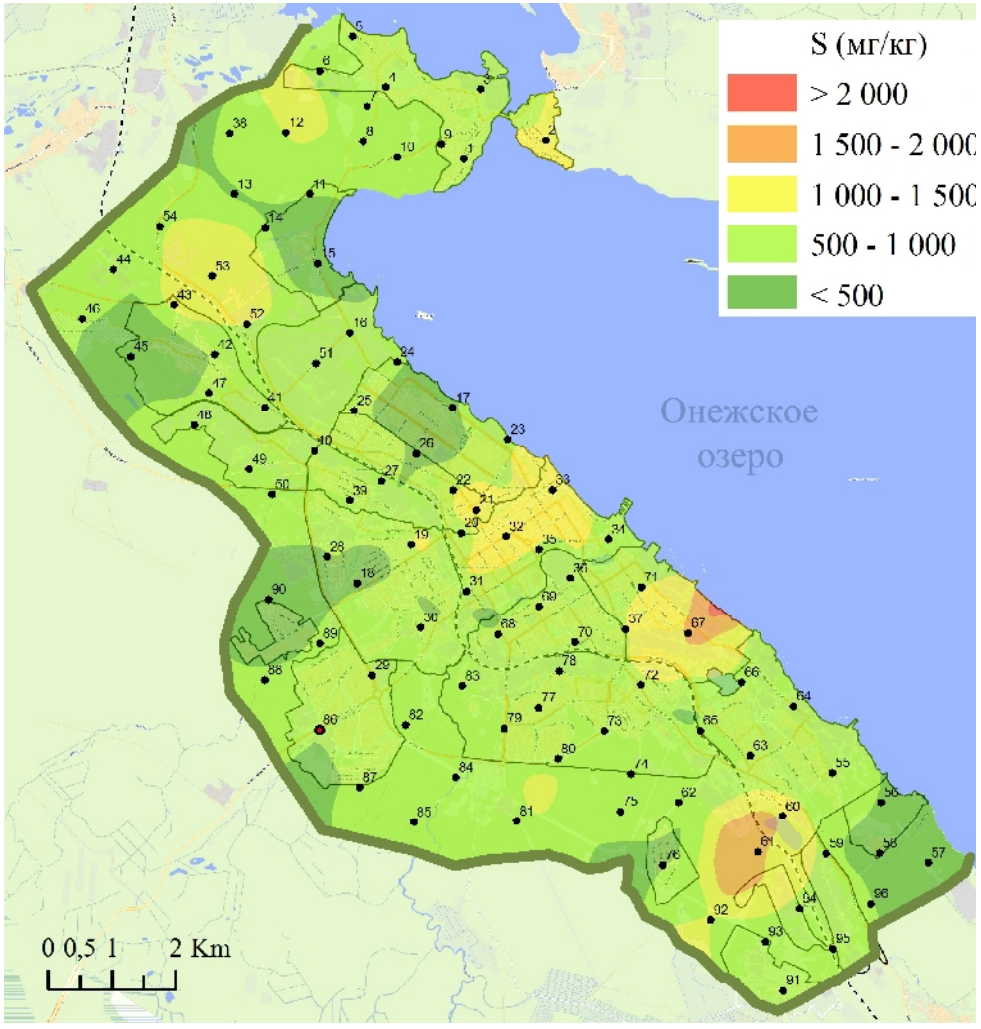
Содержание марганца в почвенном покрове города распределено неравномерно (рис. 9). Превышение ПДК (1500 мг/кг) отмечено на землях природно-рекреационной зоны и городской застройки. Среднее содержание марганца в почвах города – 819,4 мг/кг, что в три раза превышает региональный фоновый показатель (282 мг/кг), но при этом не превышает ПДК. Среднее геометрическое значение – 721,6 мг/кг. В большинстве почвенных проб количество марганца выше уровня фона, но ниже уровня ПДК, независимо от категории землепользования. Повышенные уровни содержания марганца проявляются на территории города локально.

3.8. Содержание серы в почвах города Петрозаводска

Сера может служить индикатором антропогенного воздействия на природную среду и косвенным показателем эмиссий тяжелых металлов, так как является их спутником (Шильцова и др, 2008). На территории г. Петрозаводска прослеживается накопление серы в почвах Центрального района и на участках, расположенных вблизи промышленных зон (рис. 10). Среднее значение концентрации серы в почвах города – 798,3 мг/кг, что превышает региональный фоновый показатель, который равен 691 мг/кг. Среднее геометрическое значение (655,1 мг/кг) находится в пределах регионального фона. Медиана содержания серы на всех категориях землепользования варьирует от 558 до 740 мг/кг, что близко к уровню фона.



● – точка отбора почвенной пробы
● – точка с экстремальным значением
Рис.9. Картосхема содержания марганца
в почвах города Петрозаводска



● – точка отбора почвенной пробы
● – точка с экстремальным значением
Рис. 10. Картосхема содержания серы
в почвах города Петрозаводска

3.9. Общая статистика содержания тяжелых металлов и серы в почвах г. Петрозаводска

Содержание всех изученных элементов имеет высокое значение коэффициента вариации (V) – более 33%, что говорит о крайней неоднородности распределения по территории города (табл. 1). Высокие показатели стандартного отклонения (σ) свидетельствуют о том, что данные по содержанию элементов, особенно марганца и серы, сильно рассеяны от среднего значения, то есть наблюдается широкий разброс. Стандартная ошибка среднего (μ) также особенно велика для значений содержания марганца и серы.

В таблице 1 также представлены характеристики средних величин. В случае неоднородного распределения показателей, целесообразно использовать средние геометрические значения или другие приемы усреднения, т.к. среднее арифметическое сильно зависит от небольшого числа образцов с максимально высокими значениями (Shacklette, Boerngen, 1984; Kabala et al., 2009). Среднее содержание свинца, меди, цинка и марганца выше фоновых показателей по всем представленным методам усреднения (среднее арифметическое, среднее геометрическое, медиана), в то время как средние концентрации никеля, кобальта и хрома не достигают регионального фона. По содержанию серы значение среднего арифметического превышает фоновые показатели, однако среднее геометрическое и медиана не достигают уровня фона.

Таблица 1.

Содержание тяжелых металлов и серы в почвах Петрозаводска, мг/кг
(96 смешанных почвенных проб)

Переменная	Среднее арифмети-ческое	Среднее геометри-ческое	Медиана	Мини-мальное значение	Макси-мальное значение	σ	μ	V, %
Pb (ПДК = 32)	35,3	23,0	19,9	2,5	441,8	54,1	5,5	153
Cu (ПДК = 100)	35,4	29,1	29,2	8,0	186,7	25,9	2,6	73
Zn (ПДК = 300)	69,8	63,5	69,8	18,6	136,4	28,7	2,9	41
Ni (ПДК = 50)	25,9	23,1	22,8	5,4	122,2	14,6	1,5	56
Co (ПДК = 50)	10,6	9,8	9,8	3,9	32,9	4,6	0,5	43
Cr (ПДК = 100)	29,9	27,4	29,3	7,2	79,0	12,5	1,3	42
Mn (ПДК = 1500)	819,4	721,6	718,8	268,9	4349,6	521,0	53,2	64
S (сера)	798,3	655,1	637,1	41,1	5059,3	640,1	65,3	80

Глава 4. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И СИСТЕМАТИКА ПОЧВ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА

С целью выделения таксономических единиц почв на территории города Петрозаводска проведено описание морфологического строения почвенных профилей, заложенных на каждой категории землепользования.

В процессе исследования выделены антропогенные глубокопреобразованные почвы: физически преобразованные (урбанозем, культурозем), химически преобразованные (индустризем); почвоподобные техногенные поверхностные образования (конструктозем); а также естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные и естественные ненарушенные почвы. Выделенные типы почв представлены в таблице 2.

Таблица 2

Типы почв на различных категориях землепользования

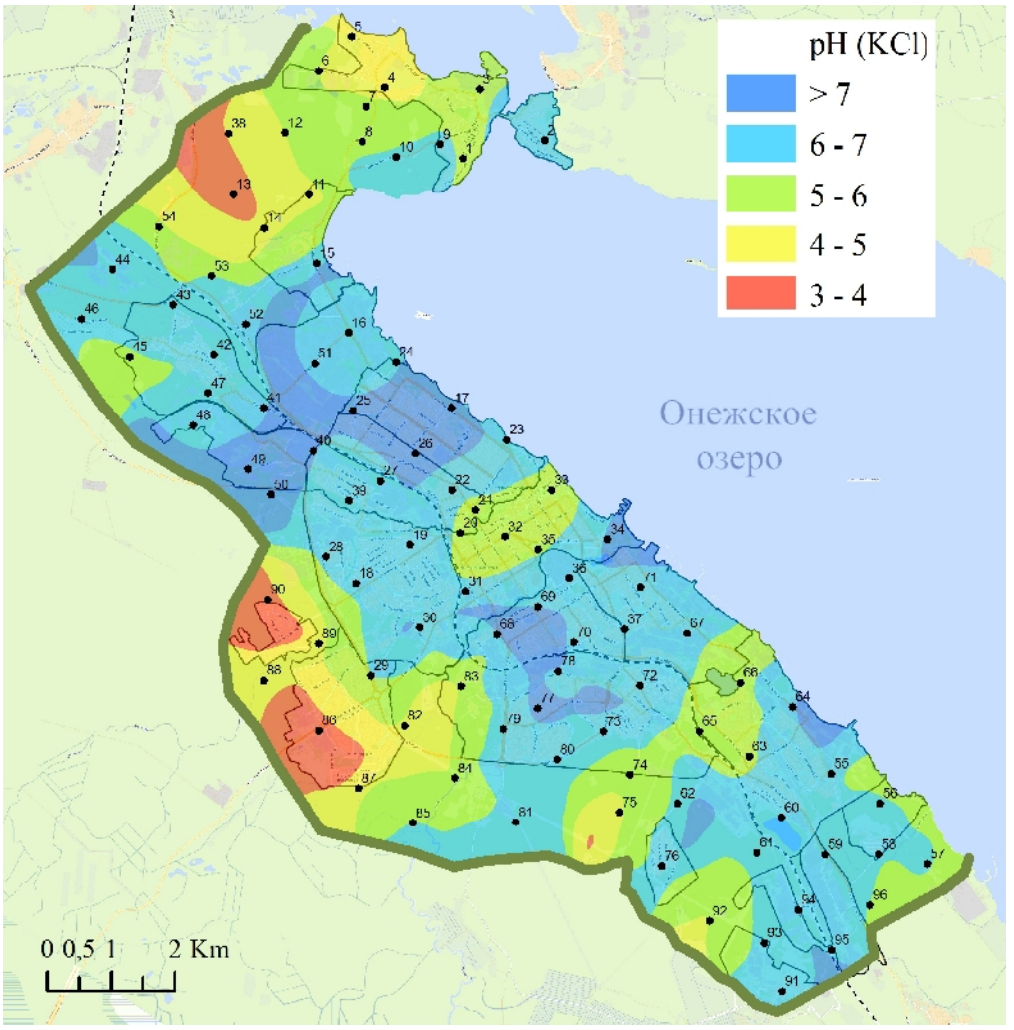
№ точки на карте	Категория землепользования	Тип почвы	Почвенный профиль, глубина, см
60	земли общего пользования	индустризем	U1pta3 (0-6) – U2ga2 (6-27) – U3a4 (27-48) – U4 (48-65)
40		урбанозем среднемощный	U1ha2 (0-5) – U2iha (5-16) – U3a1 (16-36) – U4 (36-60)
6		урбоподзолистая сильнонарушенная	U1d (0-5) – U2ha1 (5-20) – UB (20-40) – BC (40-70)
67	земли городской застройки	индустризем	U1d (0-2) – U2h (2-11) – U3a4 (11-36) – U4L (36-50)
69		урбанозем маломощный	U1d (0-1) – U2h (1-5) – U3 (5-14) – U4 (14-20) – U5a2 (20-35)
33		конструктозем	U1d (0-2) – U2h (2-10) – U3iha1 (10-20) – U4 (20-45) – U5 (45-62) – U6 (62-70)
1	земли сельской застройки	культурозем	U1d (0-5) – U2h (5-20)
2		урбоподзолистая слабонарушенная	Adua1 (0-1) – A1uA2u (1-20) – B (20-45) – BC (45-75)
58		подзолистая суглинистая контактно-глееватая	A0 (0-3) – A1 (3-10) – A2Bg (10-35) – Bg (35-58) – BCg (58-80) – Cg (80-100)
46	земли резерва	урбоподзолистая сильнонарушенная	U1da1 (0-2) – U2a1 (2-10) – U3a1 (10-30) – Bu (30-46) – BC (46-75)
53		культурозем	U1h (0-12) – U2ih (12-32) – U3 (32-42) – BCg (42-57) – Cg (57-95)
66		микроподбур на элюво-делювии гранитов	Ad (0-1) – B (1-4) – C (4-9) – D (>9)
35	земли природно-рекреационной зоны	индустризем	U1dh (0-2) – U2ih (2-8) – U3a3 (8-22) – U4a3 (22-48) – U5a3 (48-64) – U6a3 (64-70)
23		сильнонарушенная аллювиальная песчаная	U1dha2 (0-5) – U2ih (5-19) – U3 (19-31) – U4 (31-45) – U5a1 (45-58) – BC1 (58-71) – BC2 (71-78)
74		элювиально-поверхностно-глеевая	A0 (0-6) – A1g (6-22) – Bg (22-25)

Глава 5. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА

5.1. Оценка кислотности почв города Петрозаводска

На рисунке 11 показана картосхема обменной кислотности почв. На землях городской застройки показатель pH варьирует от 4,3 до 7,8. На землях общего пользования кислотность в основном изменяется от 4 до 7,9 pH. Земли природно-рекреационной зоны характеризуются кислой и близкой к нейтральной реакцией почв (pH – 3,3-5,9). На землях сельской застройки показатель pH составляет 5,9-7,8. На землях резерва отмечена среднекислая (pH – 4,7-5,9) и близкая к нейтральной (pH – 6,3-6,4) реакция почвы.

В целом урбанизированная территория характеризуется нейтральной и слабощелочной реакцией среды. Заметно подщелачивание почв промышленных зон. В районах, удаленных от центральной части города, и в пригородных лесах наблюдается увеличение кислотности.



● – точка отбора почвенной пробы

Рис. 11. Картосхема показателей кислотности (вытяжка KCl) почв города Петрозаводска

5.2. Химические свойства почв различных категорий землепользования

Для характеристики химических свойств городских почв в качестве контроля использовали свойства наиболее распространенных естественных почв республики Карелия – иллювиально-железистого песчаного подзола (Федорец, 2001).

Почвы на территории города имеют близкую к нейтральной и слабощелочную реакцию по всему почвенному профилю. В отдельных случаях показатель pH солевой вытяжки минеральной части почв, сохранивших естественное строение, близок к pH лесных почв Карелии, за исключением поверхностного слоя. На землях общего пользования и городской застройки кислотность значительно ниже. Городские почвы отличаются более высоким содержанием углерода, исключение составляют культурозем на землях резерва и подзолистая суглинистая контактно-глееватая почва на землях сельской застройки. Отличительной чертой почв сохранивших естественное строение в пригородных лесах является наличие органогенного горизонта – лесной подстилки, где происходит накопление органического вещества, содержание которого резко снижается в нижележащих горизонтах. В целом органическое вещество городских почв бедно азотом. Почвы насыщены

основаниями. Минеральная часть почв обогащена подвижными соединениями фосфора и калия.

Глава 6. РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И СЕРЫ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

На землях общего пользования в целом проявляется тенденция снижения валового содержания тяжелых металлов по глубине, в то время как концентрации подвижных форм увеличиваются. В почвенном профиле сильно загрязненной почвы – индустризема (рис. 12) выявлены резкие увеличения общего содержания свинца, меди, никеля, цинка, марганца на глубине 27-48 см. Данный горизонт отличается наличием торфа, разложившейся древесины и строительного мусора и представляет собой органоминеральную смесь. Как известно, тяжелые металлы образуют труднорастворимые соединения с органическим веществом (Ramakrishnaiah, Somashekar, 2002; Джувеликян, 2005), что обусловливает наличие геохимического барьера. Концентрации подвижных форм здесь не превышают ПДК.

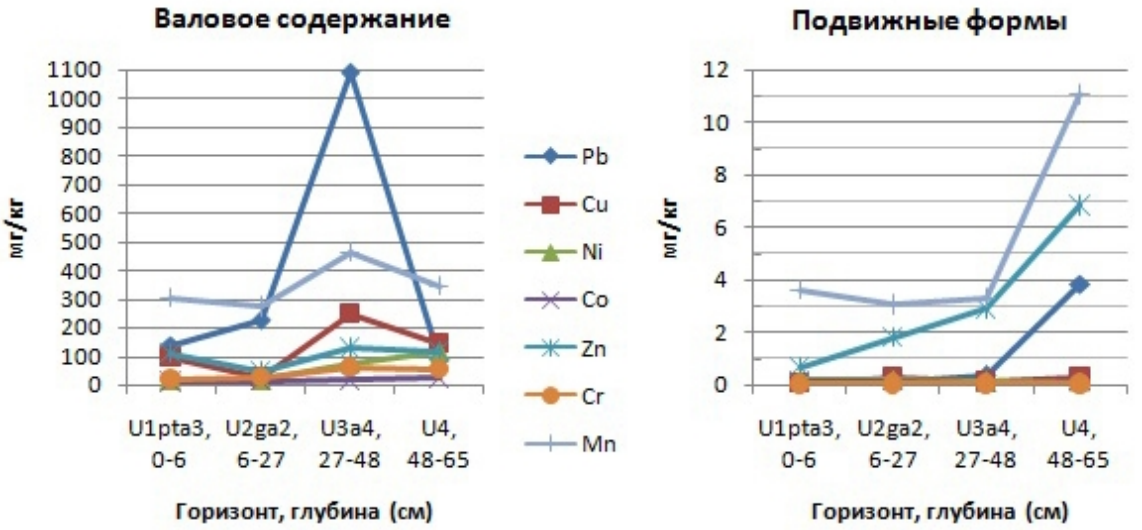


Рис. 12. Радиальное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле на землях общего пользования (индустризем)

Почвы на землях городской застройки характеризуются высоким валовым содержанием свинца и в отдельных случаях никеля в верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах. В почвенном профиле урбанозема маломощного по глубине прослеживается неравномерное снижение валового содержания и подвижных форм всех определенных тяжелых металлов. Валовое содержание хрома, цинка, никеля, меди, кобальта и марганца в конструктоземе снижается по глубине, в то время как концентрация их подвижных форм увеличивается. По графику распределения тяжелых металлов в индустриземе (рис.13) прослеживается неравномерное снижение валового содержания тяжелых металлов по глубине, в то время как концентрации подвижных форм увеличиваются.

На землях сельской застройки в почвенном профиле, сохранившем естественное строение, а именно: подзолистых суглинистых контактно-глееватых почв, наблюдается более высокое валовое содержание и концентрации подвижных форм тяжелых металлов в иллювиальных горизонтах и почвообразующей породе. В лесной подстилке выявлено накопление подвижной меди. В двух других почвенных разрезах отмечено повышенное по отношению к ПДК (32 мг/кг) валовое содержание свинца в верхних горизонтах. Здесь же выявлены высокие концентрации подвижной меди до 3ПДК (ПДК = 3 мг/кг). На рисунке 14 показано радиальное распределение тяжелых металлов по почвенному профилю урбоподзолистой слабонарушенной почвы. В верхнем горизонте 0-1 см отмечено повышенное валовое содержание свинца, составляющее 1ПДК, по глубине его концентрация

равномерно снижается. Подобное распределение отмечено для общего марганца, хрома, цинка и кобальта. Валовое содержание меди и никеля по глубине увеличивается. Выявлено увеличение концентраций подвижных соединений меди, цинка и кобальта по глубине.

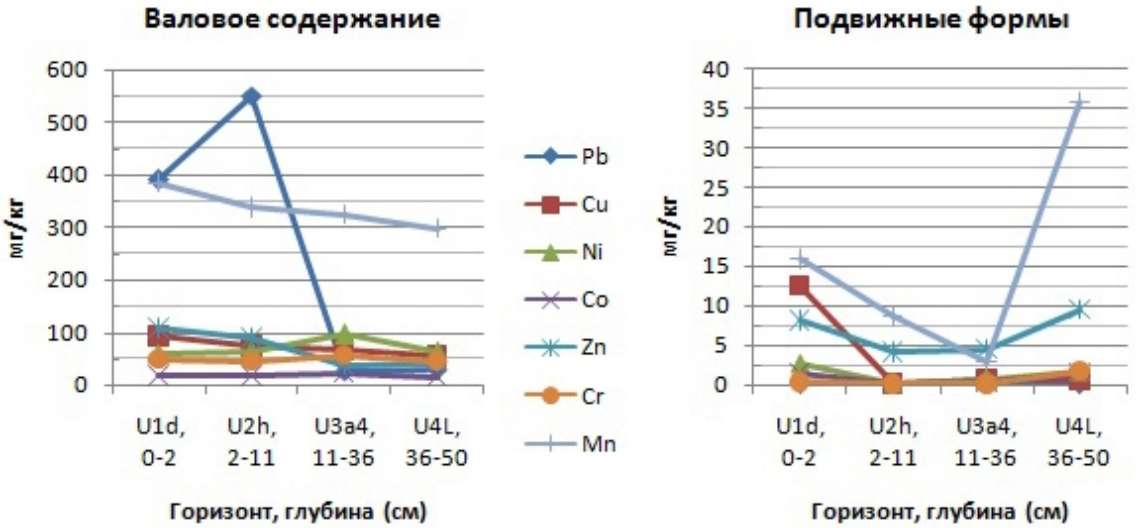


Рис. 13. Радиальное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле на землях городской застройки (индустризем)

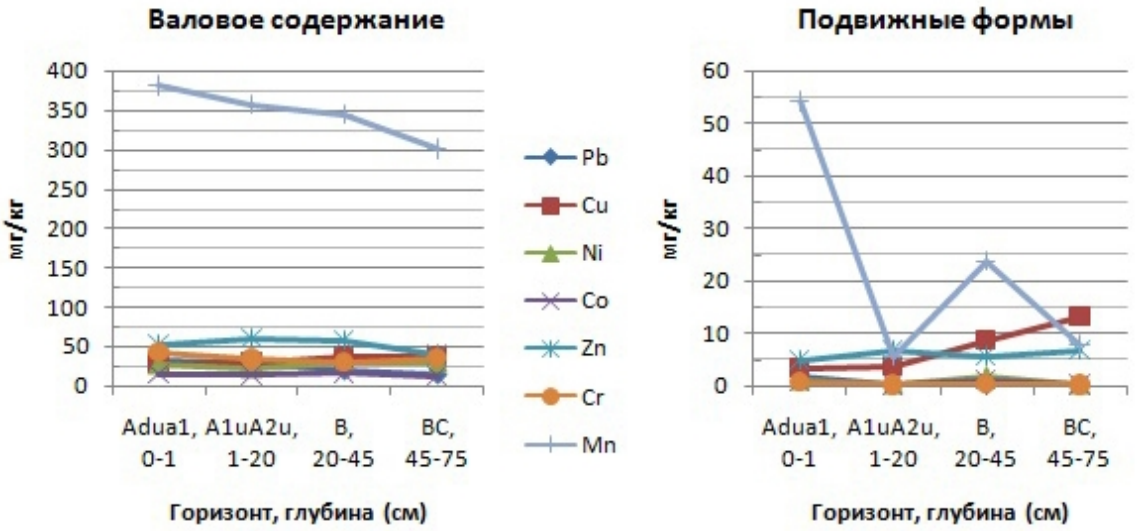


Рис. 14. Радиальное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле на землях сельской застройки (урбоподзолистая слабонарушенная почва)

В разрезах, заложенных на землях природно-рекреационной зоны в черте города, выявлены превышения ПДК валового содержания свинца и меди. На территории пригородных лесов концентрации всех тяжелых металлов не превышают ПДК. В почвенном профиле, заложенном в пригородном лесу южной части города на территории несанкционированной свалки бытового мусора, валовые концентрации тяжелых металлов снижаются по глубине, исключение составляет хром. Однако для подвижных форм выявлено незначительное увеличение концентрации по глубине. В зеленой зоне города на берегу Онежского озера определено высокое валовое содержание свинца в антропогенно преобразованных горизонтах «урбик» до 6,5ПДК. Распределение подвижных форм тяжелых металлов по почвенному профилю не равномерно, отмечаются накопления как в антропогенно преобразованных, так и в сохранивших естественное строение горизонтах BC. Индустризем на территории городского парка «Ямка», содержит большое количество антропогенных включений (битый кирпич, шлак). По всему почвенному профилю отмечено

высокое валовое содержание свинца до 16,5ПДК и меди до 2,5ПДК (рис. 15). В целом валовое содержание тяжелых металлов снижается по глубине. Однако концентрации подвижных форм увеличиваются вниз по почвенному профилю, за исключением свинца и хрома, но находятся в пределах ПДК.

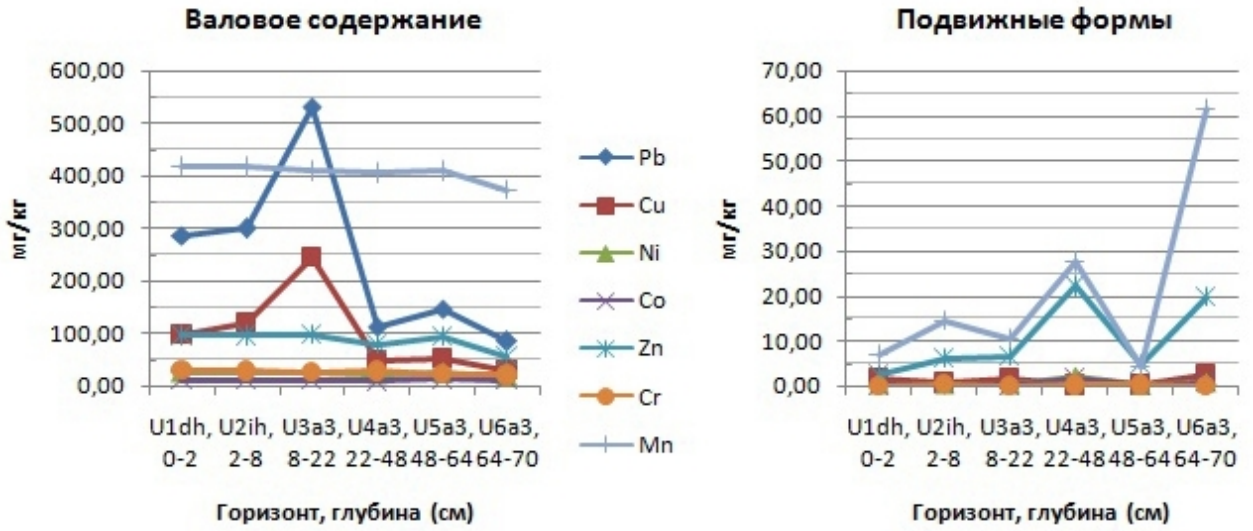


Рис. 15. Радиальное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле на землях природно-рекреационной зоны (индустризем)

В заложенных разрезах на землях резерва содержание тяжелых металлов находится в пределах ПДК. В почвенном профиле культурозема прослеживается увеличение валового содержания и концентрации подвижных соединений свинца по глубине. Накопление общего количества других тяжелых металлов отмечено в антропогенном горизонте на глубине 32-42 см, в этом же почвенном горизонте выявлено максимальное содержание подвижных соединений хрома, цинка и марганца. Концентрации подвижных соединений никеля, кобальта и меди снижаются с глубиной. Почвенный профиль микроподбура на элювио-делювии гранитов характеризуется снижением валового содержания тяжелых металлов вниз по профилю, за исключением никеля и хрома. Концентрации подвижных соединений кобальта, цинка и марганца увеличиваются вниз по профилю. Отмечено накопление меди и никеля в горизонте В (1-4 см). На рисунке 16 представлено распределение тяжелых металлов по почвенному профилю урбоподзолистой сильнонарушенной почвы. Валовое количество тяжелых металлов слабо изменяется по глубине. Содержание общего свинца, никеля и цинка незначительно снижается вниз по профилю, а меди, кобальта, хрома и марганца возрастает. Выявлено накопление подвижных форм марганца, цинка и свинца в антропогенных горизонтах. В целом концентрации подвижных соединений тяжелых металлов снижаются по глубине.

Наиболее высокое валовое содержание серы на территории города, относительно регионального фона, выявлено в почвах на землях общего пользования и городской застройки, её накопление происходит преимущественно в верхних антропогенных горизонтах «урбик».

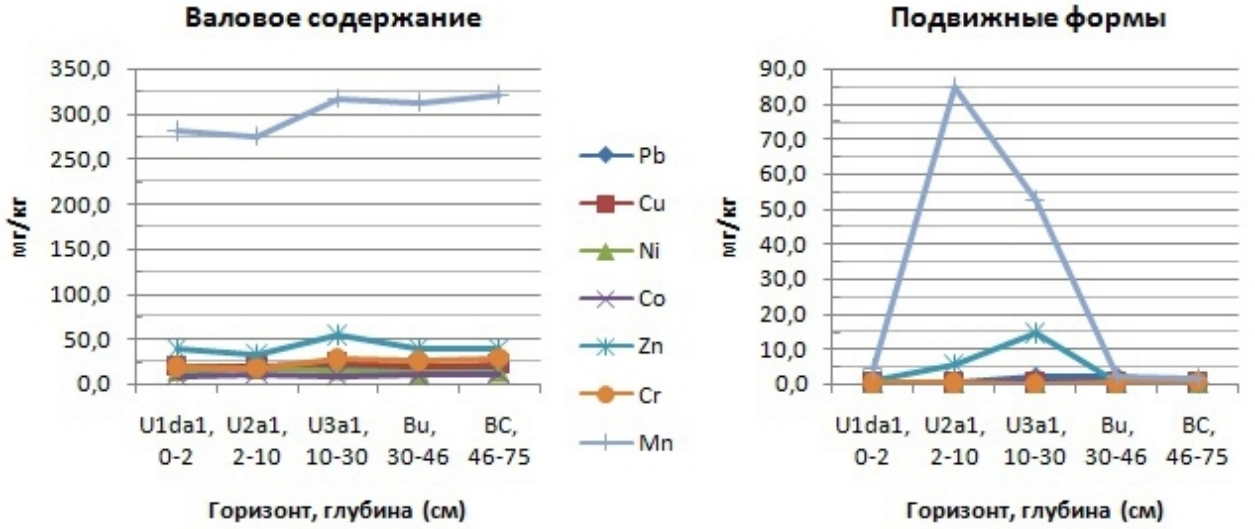


Рис. 16. Радиальное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле на землях резерва (урбоподзолистая сильнонарушенная почва)

На графике (рис. 17) представлено относительное содержание различных форм тяжелых металлов (в процентах от валового) в поверхностном слое почв (0-5 см). Стоит отметить, что из металлов, которые относятся к первому классу опасности (Pb, Zn, Ni, Cr) наиболее подвижным является цинк, процент подвижных соединений на всех выделенных категориях землепользования (3-7%). Доля подвижных форм никеля и кобальта 1-3%, а хрома менее 1%. Несмотря на высокое валовое содержание свинца в верхних слоях почв на землях общего пользования, городской застройки и природно-рекреационной зоны, доля его подвижных соединений здесь крайне мала, менее 0,2 %. Отмечен высокий процент подвижной меди в почвах на землях городской и сельской застройки 5-10%, а также марганца на землях резерва и сельской застройки 4-5 %. Выявлено, что водорастворимые формы в среднем составляют 0,1-0,5 % от валового содержания тяжелых металлов. Однако в отдельных случаях при низком валовом содержании элемента, количество водорастворимых соединений достигает 6%. Более высокая доля подвижных и водорастворимых соединений металлов выявлена на землях сельской застройки, что, вероятно, связано с поступлением элементов с удобрениями и известью, которые часто используют на частных участках.

В целом в почвенных образцах с различных глубин вытяжкой «Aqua regia» извлекается более 50% от валового содержания тяжелых металлов. Количество подвижных соединений извлекаемых солевыми вытяжками составляет 0,1-35%. Водной вытяжкой извлекается от 0,002 до 6% в отдельных случаях.

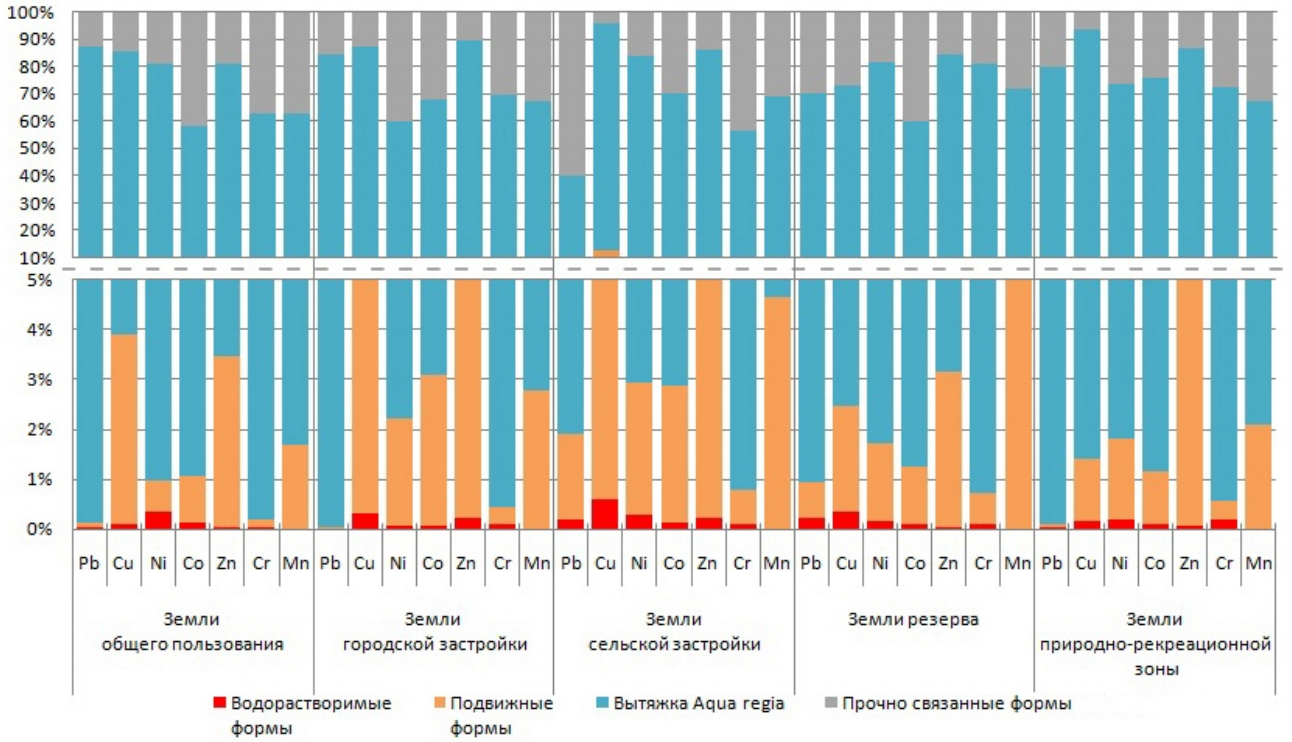


Рис. 17. Относительное содержание форм соединений тяжелых металлов в поверхностном слое почв (0-5 см), % от валового

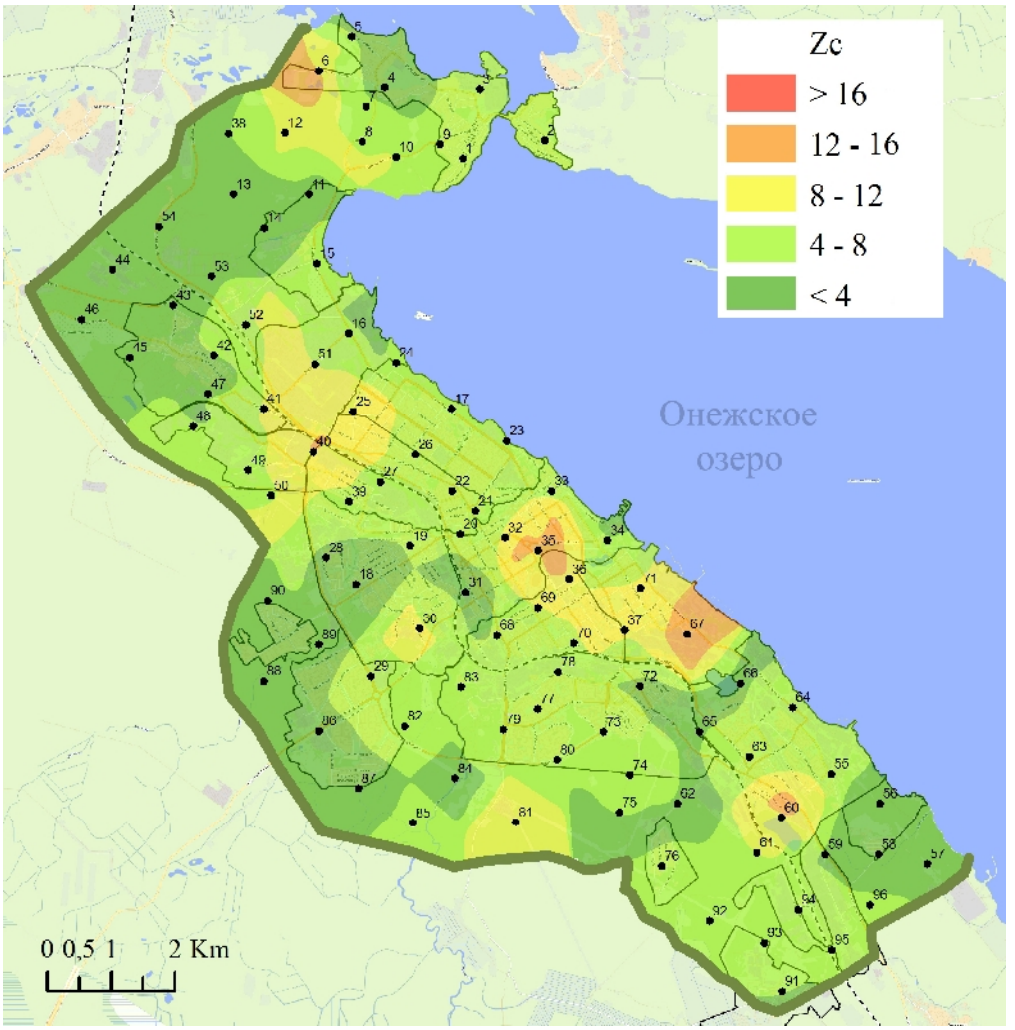
Глава 7. ОЦЕНКА СУММАРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА И ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

По комплексному показателю суммарного загрязнения (Zc) почв тяжелыми металлами построена картосхема (рис. 18), на которой видно увеличение показателя в центральной части города, на территории промышленной зоны района Зарека, вблизи деревообрабатывающих предприятий в районе Соломенное, а также в районах Рыбка и Северная промзона. Максимальное значение показателя Zc равное 19,4 (умеренно опасная категория загрязнения) выявлено в почвах городского парка «Ямка». Данная территория находится в самом центре города в понижении рельефа рядом с Онежским тракторным заводом (в прошлом Александровский завод), который функционировал до 2008 г. На протяжении истории территория парка служила песчаным карьером, а также свалкой заводских шлаков, с чем и связан повышенный уровень загрязнения почвы. В настоящее время город Петрозаводск не является крупным промышленным центром, в связи с чем в целом на территории города выявлены невысокие уровни комплексного загрязнения почв тяжелыми металлами.

Медиана по показателю Zc для почв каждой категории землепользования находится в пределах от 3 до 7. Среднее значение для территории города Петрозаводска равно 5,5. В связи с этим можно сделать вывод, что почвы имеют минимальный низкий уровень комплексного загрязнения тяжелыми металлами и соответствуют допустимой категории. По показателям здоровья населения данной категории соответствует наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений (Гигиеническая оценка…, 1999).

Однако на территории г. Петрозаводска выделены точки с повышенным содержанием в почве отдельных элементов (меди, никеля) относительно фона и ПДК, а также определено площадное загрязнение почв свинцом, который является приоритетным загрязнителем. В наибольшей степени свинцом загрязнены почвы на землях общего пользования и городской застройки, что может негативно сказываться на здоровье населения.

В связи с вышесказанным считаем необходимым проведение организации экологического мониторинга почв на территории города Петрозаводска для контроля концентраций тяжелых металлов, особенно свинца.



● – точка отбора почвенной пробы

Рис. 18. Картосхема загрязнения почв г. Петрозаводска тяжелыми металлами по показателю Zc

Для дальнейших исследований рекомендуем увеличить количество точек отбора почвенных проб, так как в настоящее время на территории г. Петрозаводска интенсивно застраиваются новые площади. Кроме того, считаем целесообразным расширить спектр исследуемых тяжелых металлов, а именно: определять содержание в почвах кадмия и ртути, одних из наиболее опасных тяжелых металлов.

ВЫВОДЫ

При проведении экологической оценки загрязнения почв тяжелыми металлами (Pb, Cu, Ni, Co, Zn, Cr, Mn) и серой различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска, получены следующие результаты.

1. В процессе исследования на территории г. Петрозаводска выделены основные категории землепользования, изучен их почвенный покров и выделены следующие таксономические единицы почв: индустизем, урбанозем маломощный, урбанозем среднемощный, урбоподзолистая сильнонарушенная, урбоподзолистая слабонарушенная, конструктозем, культурозем, подзолистая суглинистая контактно-глееватая, микроподбур на элюво-делювии гранитов, сильнонарушенная аллювиальная песчаная, элювиально-поверхностно-глеевая.

2. Изучение морфологического строения почвенных профилей показало, что на землях общего пользования и городской застройки почвы антропогенно преобразованы на глубину более 50 см, сельской застройки - до 20 см, резерва - до глубины 30-40 см. Почвы природно-рекреационной зоны в черте города изменены до глубины 70 см. В пригородных лесах сохранилось естественное строение почв.

3. Городские почвы содержат больше элементов минерального питания, чем естественные, особенно на землях городской и сельской застройки. Содержание углерода максимально в верхних органогенных горизонтах на землях природно-рекреационной зоны в пригородных лесах. Органическое вещество почв бедно азотом.

4. Построены картосхемы показателей pH почвенного покрова г.Петрозаводска, которые показали , что для них характерна нейтральная и слабощелочная реакция. Выявлено подщелачивание почв в районах с развитым промышленным сектором. Для почв пригородных лесов и районов, удаленных от центральной части города, типична более кислая реакция, характерная для естественных почв Карелии.

5. Картосхемы валового содержания тяжелых металлов и серы в почвах города показывают, что его территория характеризуется низкими уровнями накопления кобальта, хрома и марганца. Выявлено площадное загрязнение почв свинцом вблизи промышленных зон, а так же отмечены повышенные концентрации меди и никеля. Содержание серы в верхнем слое почв города колеблется в широких пределах, но ниже уровня регионального фона.

6. Построена картосхема по комплексному показателю суммарного загрязнения почв (Zc). Установлено, что почвы на территории города относятся к допустимой категории загрязнения. По убыванию показателя Zc земли различного пользования можно расположить в следующий ряд: земли общего пользования > городской застройки > природно-рекреационной зоны > сельской застройки > земли резерва.

7. Исследование фракционного состава тяжелых металлов в почвах (по степени растворимости) показало, что подвижных соединений, извлекаемых водной вытяжкой, содержится наименьшее количество (0,002-6% от валового содержания). Извлекаемых солевыми вытяжками содержится больше (0,1-35% от валового содержания). Вытяжкой «Aqua Regia» извлекается более 50% от валового содержания тяжелых металлов. Для большинства соединений тяжелых металлов в городских почвах характерна низкая подвижность. Наиболее подвижными являются соединения марганца и цинка.

8. Изучение распределения различных форм тяжелых металлов в почвенных профилях показало, что наиболее высокое валовое содержание их отмечается в антропогенных горизонтах «урбик». Установлено, что распределение по профилю соединений, извлекаемых вытяжкой «Aqua Regia», происходит сопряженно с валовым содержанием. Подвижные соединения тяжелых металлов распределены по почвенным профилям неравномерно, что зависит от химических свойств и гранулометрического состава почвогрунта, а также антропогенных включений. В почвах, сохранивших естественное строение профиля, отмечено накопление элементов в иллювиальном горизонте и почвообразующей породе.

9. Выявленное на территории города Петрозаводска накопление тяжелых металлов в почвах, в наибольшей степени свинца, свидетельствует о необходимости организации и проведения почвенного экологического мониторинга и разработки мероприятий по ремедиации наиболее загрязненных почв.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. **Новиков С.Г.** Радиальное распределение валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов в почвах г. Петрозаводска на землях общего пользования // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: http://www.science-education.ru/115-12088 (дата обращения: 14.02.2014).
2. Ахметова Г.В., **Новиков С.Г.** Загрязнение свинцом почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: http://www.science-education.ru/115-12194 (дата обращения: 26.02.2014).

Публикации по теме диссертации в других изданиях

3. Новиков С. Г. Исследование загрязнения почв урбанизированных территорий тяжелыми металлами (на примере города Петрозаводска) // Современные проблемы загрязнения почв. IV Международная конференция. (Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова, 27-31 мая 2013 г.). М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2013. С. 333-335.
4. Новиков С. Г. Экологическая оценка загрязнения почв города Петрозаводска тяжелыми металлами // Материалы Международной научной конференции XVI Докучаевские молодежные чтения "Законы почвоведения: новые вызовы" / Под ред. Б. Ф. Апарина. СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета, 2013. С. 171-172.
5. Новиков С. Г. Опасность загрязнения тяжелыми металлами сельскохозяйственных почв, расположенных вблизи городов // Ресурсный потенциал растениеводства – основа обеспечения продовольственной безопасности: Труды Международной заочной научно-практической конференции (10 декабря 2012 г.). – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. С. 161-163.
6. Новиков С. Г. Почвы урбанизированных территорий как биогеохимический барьер на пути тяжелых металлов // Материалы Международной научной конференции «XV Докучаевские молодежные чтения: Почва как природная биогеомембрана» / Под ред. Б. Ф. Апарина. СПб.: ВВМ, 2012. С. 13-14.
7. Новиков С. Г. Почвы урбанизированных территорий как биогеохимический барьер на пути тяжелых металлов // Материалы по изучению русских почв. Вып. 7 (34): Сб. науч. докл. / Под ред. Б. Ф. Апарина. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2012. С. 125-129.
8. Новиков С. Г. Проблема экологического мониторинга сельскохозяйственных почв, прилегающих к урбанизированным территориям // Устойчивое развитие АПК: рациональное природопользование и инновации: материалы Международной заочной научно-практической конференции (17 мая 2011 г.). – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. С. 75-79.