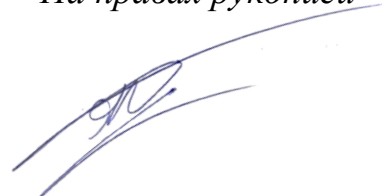


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Плахов Герман Анатольевич

**ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В
ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВА-НА-ДОНУ)**

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ростов-на-Дону – 2023

Работа выполнена на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского
Южного федерального университета

**Научный
руководитель:**

Безуглова Ольга Степановна,
доктор биологических наук, профессор
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет», Академия
биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского,
кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов,
профессор

**Официальные
оппоненты:**

Назаренко Ольга Георгиевна
доктор биологических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
учреждение государственного центра
агрохимической службы «Ростовский», директор

Иванисова Надежда Викторовна
кандидат биологических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный
университет МСХА имени К. А. Тимирязева»,
отдела НИР студентов и молодых ученых, начальник
отдела

Защита диссертации состоится **26 декабря 2023 г. в 15:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21 Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1319522/>

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, ученой степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 804, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ 801.01.01 Тимошенко А.Н., а также в формате pdf на e - mail: atimoshenko@sfedu.ru

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Тимошенко Алёна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В условиях нарастающей урбанизации исследования свойств городского почвенного покрова становятся особенно актуальными. Нахождение городских почв в эпицентре источников поступления элементов, как естественного, так и антропогенного происхождения, значительным образом сказывается на почвенном химическом балансе. И тяжелые металлы (ТМ), как наиболее распространенные компоненты антропогенного воздействия, требуют детального изучения. Актуальность темы обусловлена тем, что контроль экологического состояния городских почв возможен только с пониманием закономерностей изменения содержания ТМ и профильного перемещения элементов. Такая информация позволяет оценивать экологическую ситуацию в городах, а также прогнозировать возможные негативные последствия урбопедогенеза и разрабатывать соответствующие методы их устранения, что важно для обеспечения устойчивого развития городских экосистем и сохранения окружающей среды.

Цель исследования – выявить влияние урбопедогенеза на накопление, профильное и пространственное распределение ряда тяжелых металлов – меди, хрома, цинка, свинца, марганца и кадмия – в естественных и антропогенно-измененных почвах Ростовской агломерации.

Основные задачи исследования:

- 1) охарактеризовать пространственное распределение и уровень загрязнения ТМ на изучаемой территории Ростовской агломерации;
- 2) определить долю подвижных форм Cr, Zn, Pb, Mn, Cu и Cd в их валовом количестве;
- 3) исследовать последствия антропогенного воздействия на содержание подвижных форм тяжелых металлов в профиле черноземов Ростовской агломерации;
- 4) выявить взаимосвязь профильного распределения тяжелых металлов с физическими, химическими и физико-химическими свойствами естественных и антропогенно-измененных почв;
- 5) оценить степень загрязнения почвенного покрова в разных функциональных зонах Ростовской агломерации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Распределение тяжелых металлов по профилю городских почв определяется приуроченностью к функциональной зоне города. В ненарушенных черноземах рекреационных территорий наблюдается накопление тяжелых металлов в гумусово-аккумулятивном горизонте и на карбонатном барьере, что обусловлено способностью гумуса к хемосорбции

химических элементов. Накопление тяжелых металлов в почвах селитебных зон обусловлено генезисом антропогенно-измененных горизонтов.

2. Структурные фракции черноземов и урбостратоземов в разной степени накапливают цинк, свинец и медь. Взаимосвязь между подвижными соединениями и агрегатами разной размерности в целом противоположна закономерностям депонирования валовых количеств.

3. Аккумуляция подвижных форм ТМ в генетических горизонтах почв зависит от химических (содержание гумуса) и физических (гранулометрический состав) свойств почв. А приуроченность ТМ к той или иной гранулометрической фракции, обусловлена свойствами металла.

Научная новизна. Показаны различия в распределении ТМ по профилю черноземов миграционно-сегрегационных и урбостратоземов. В черноземах наблюдается аккумуляция свинца и меди в гумусово-аккумулятивных горизонтах, а цинка – в горизонтах повышенного содержания карбонатов. Четкая приуроченность накопления ТМ к горизонтам урбик свидетельствует об их антропогенном происхождении. Уточнена зависимость валового содержания и обменных форм тяжелых металлов от гранулометрического состава, концентрации органического вещества (приуроченность к гумусово-аккумулятивным горизонтам), повышенного содержания карбонатов кальция.

Впервые изучены закономерности валового сосредоточения ТМ в структурных фракциях черноземов миграционно-сегрегационных и урбостратоземов и приуроченность кислоторастворимой формы ТМ (растворимых в азотнокислой вытяжке) к определенным фракциям структуры. Показано, что максимальное концентрирование цинка наблюдается во фракциях <0,25 и 3–5 мм как в черноземах, так и в урбостратоземах, напротив, медь и свинец сосредотачиваются в более крупных агрегатах черноземов. В урбостратоземах максимум валового количества свинца приурочен к глыбистым агрегатам, а меди – к отдельностям размерностью 5–7 мм. Распределение подвижных соединений изученных металлов по фракциям структуры в целом диаметрально противоположно.

Теоретическая и практическая значимость. Установленные закономерности в распределении ТМ по структурным фракциям вносят вклад в понимание процессов закрепления и передвижения их в почве. Оценка уровня загрязнения почвенного покрова различных функциональных зон Ростовской агломерации может быть использована в работе природоохранных организаций, для построения картограмм содержания изученных ТМ в почвах Ростовской агломерации.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в экспедициях, закладке, описании почвенных разрезов и отбору проб почвы.

Автором была проведена пробоподготовка образцов, приготовление проб и вытяжек для анализа, анализ образцов на содержание обменных форм металлов, а также выполнен сбор, обработка и интерпретация полученных данных.

Степень достоверности и апробация работы. Было изучено 27 полнопрофильных разрезов, а также 45 образцов из поверхностного десятисантиметрового слоя. Всего было отобрано и проанализировано 210 почвенных образцов. Степень достоверности обусловлена также применением методов статистической обработки.

Основные положения были представлены конференциях всероссийского и международного уровней. Москва: «Ломоносов 2020, 2021, 2022, 2023», IV и V «Вильямсовские чтения»; Санкт-Петербург: «Докучаевские молодежные чтения»; Ростов-на-Дону: «Современное состояние черноземов» и др.; VII Съезд общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Ростов-на-Дону – Сыктывкар, 2019).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, 3 из них – статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science; 2 – в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа содержит 151 страницу текста, 11 таблиц, 48 рисунков и 4 приложения. Список литературы включает 240 источников, из них 148 на иностранных языках.

Соответствие темы паспорта специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.19. Почвоведение по пункту 6 в части «Теоретические и научно-методические проблемы химии почв. Проблемы техногенного и агрогенного химического загрязнения почв».

Финансовая поддержка исследования. Исследования проводились при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность за помощь в работе, безграничное терпение и всестороннюю поддержку в становлении как специалиста научному руководителю, д.б.н. профессору О. С. Безугловой; д.б.н. профессору кафедры ботаники ЮФУ С.Н. Горбову за ценные советы, постоянную поддержку на протяжении всего периода подготовки диссертации, коллективу НИЛ «Биогеохимия» за помощь в проведении полевых и лабораторных изысканий; к.б.н., доценту кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Ю. А. Литвинову за помощь в работе с

картографическим материалом, и всему преподавательскому составу кафедры за качественное обучение, консультации и помощь в работе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Представлен обзор отечественной и зарубежной литературы по теме исследования. Рассмотрены такие вопросы как функции почвы в городской среде и влияние урбанизации на почвенный покров и, в частности, на химический состав городских почв, а также факторы, влияющие на подвижность и накопление ТМ в почвах.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступал почвенный покров Ростовской агломерации и прилегающих территорий. Для исследования в Ростовской агломерации было заложено 27 полнопрофильных разрезов в различных функциональных зонах города (парково-рекреационная, селитебная). Для того, чтобы избежать влияния пойменных и склоновых процессов и получения более единообразных данных, разрезы закладывали на выровненных, плакорных участках города.

Поверхностные почвенные образцы отобраны на глубину 10 см в 45 точках, преимущественно рассредоточенных в производственной зоне, включая Левобережье.

Принимая во внимания ранее проведенные исследования (Горбов, 2018; Тагивердиев, 2020), изученные почвы условно разделили на 2 группы:

- зональные черноземы (миграционно-сегрегационные) – естественные почвы, испытывающие на себе минимальное влияние антропогенного фактора, расположенные на территории Ботанического сада ЮФУ, парково-рекреационных зон, отдельных пригородных территорий и ООПТ);
- антропогенно-измененные почвы (урбостратоземы, урбистратифицированные черноземы), характерные для селитебных и производственных зон.

Обменные формы элементов определяли с применением ацетатно-аммонийного буфера с $pH=4,8$. Соотношение почва: раствор 1:10. Анализ проводили на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915. Для характеристики экологического состояния почв в структурных фракциях

определяли кислоторастворимую форму в азотнокислой вытяжке (1н HNO_3) атомно-абсорбционным методом на приборе МГА-915.

Определение валового содержания тяжелых металлов было выполнено методом рентгенфлуоресцентного анализа с использованием спектросканера МАКС-GV.

Содержание органического и неорганического углерода определяли на анализаторе углерода TOC-L CPN Shimadzu в приставке для сухих образцов SSM-5000A (метод высокотемпературного каталитического сжигания). Структуру почвы определяли методом Саввинова (сухое просеивание). Гранулометрический состав – методом пипетирования по Качинскому с подготовкой почвы с пирофосфатом натрия (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Статистическая обработка данных была выполнена с помощью программного обеспечения Statistica for Windows 10.0, MS Excel.

ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

3.1 Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Ростовской агломерации

Черноземы рекреационных зон Ростовской агломерации характеризуются различным микроэлементным составом, что обусловлено как местоположением, так и хозяйственной деятельностью человека. Например, в черноземах обыкновенных парка Авиаторов, как и в черноземах Ботанического сада ЮФУ наблюдается высокое валовое содержание меди, превышающее значения ПДК по всему профилю. Прежде всего, это обусловлено достаточно высоким содержанием этого элемента в породе (лессовидные суглинки и глины), а также обработкой деревьев медьсодержащими фунгицидами.

Урбостратоземы селитебных территорий хотя и различаются по содержанию ТМ, но все же характеризуются и общими чертами. В частности, горизонтам урбик присущи резкие отличия в силу своей природы. Так, содержание подвижного свинца и цинка может различаться в несколько раз в разных горизонтах UR одного профиля. В отношении марганца и меди картина похожая, но не так резко выраженная.

Погребенные черноземы, как и погребенная лугово-черноземная почва, четко отличаются по содержанию свинца, цинка и марганца, независимо от месторасположения разреза. Этот факт, так же, как и поверхностный характер накопления, свидетельствует об антропогенном происхождении загрязнения свинцом и цинком, а также значительным ростом техногенного прессинга по

сравнению с более ранними историческими периодами формирования городской среды. Практически в каждом разрезе отмечено загрязнение цинком, что обусловлено наличием в Ростове-на-Дону лакокрасочного предприятия ЗАО «Эмпилс», крупнейшего производителя цинковых белил в СССР и РФ. Причем можно отметить в профиле и черноземов, и урбопочв два максимума: поверхностный горизонт и горизонты ВС, С_{са}, С, которые представляют собой карбонатный барьер на пути миграции подвижных соединений цинка.

Результаты определения химического состава экранированных урбостратоземов показывают, что основные очаги превышения предельно допустимых концентраций подвижного свинца приходятся на горизонты UR, что демонстрируют разрезы 1501 и 1608. Это может быть обусловлено низкой проницаемостью почвенного покрытия и, как следствие, низкой степенью смыва солей тяжелых металлов вниз по почвенному профилю. Практически во всех разрезах прослеживается некоторое превышение ПДК по валовому содержанию кобальта и хрома по всему профилю. При этом содержание подвижных форм этих же металлов во всех разрезах находится значительно ниже ПДК. Содержание марганца, как подвижных форм, так и валовое, во всех разрезах находится значительно ниже ПДК, что согласуется со сделанными ранее выводами.

3.2 Миграция тяжелых металлов по профилю городских почв

Наибольшие скопления поллютантов наблюдаются в насыпных или антропогенно-преобразованных горизонтах, что демонстрируют свинец и марганец в разрезе 1404 (рис.1).

Схожие закономерности обнаружены для свинца и цинка в разрезах 1501 и 1608. Также видно, что максимумы накопления элементов приходятся на урбогоризонты (рис.2). Наблюдается и корреляция между валовым содержанием и обменными формами тяжелых металлов (рис.3), что подтверждается литературными данными.

В антропогенно-преобразованных почвах наибольшие концентрации подвижных форм меди также приходятся на горизонты UR (рис 3).

В некоторых случаях подвижные формы цинка демонстрируют иное поведение. На графиках (рис. 4) видно, что концентрация металла увеличивается в горизонтах скопления белоглазки. Это свидетельствует о роли карбонатного барьера в накоплении на этих глубинах мигрирующих из верхних горизонтов металлов.

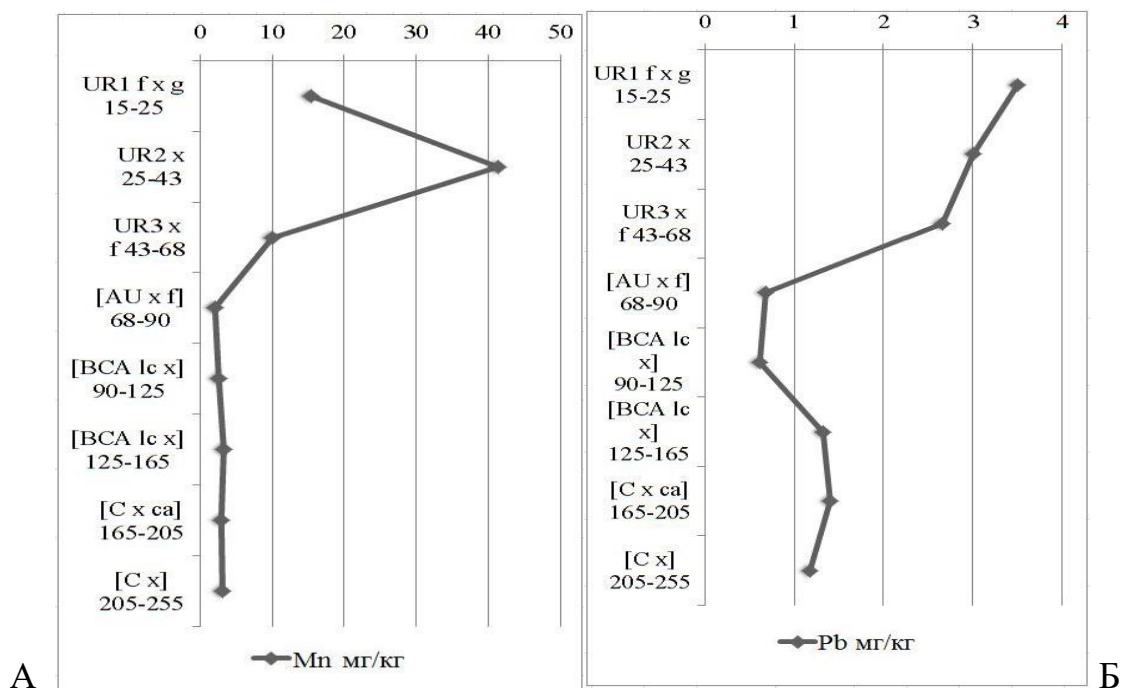


Рисунок 1 – Профильное распределение свинца (А) и марганца (Б) в урбостратоземе экранированном химически загрязненном (хемоземе) на погребенном черноземе темногумусовом (разрез 1404)

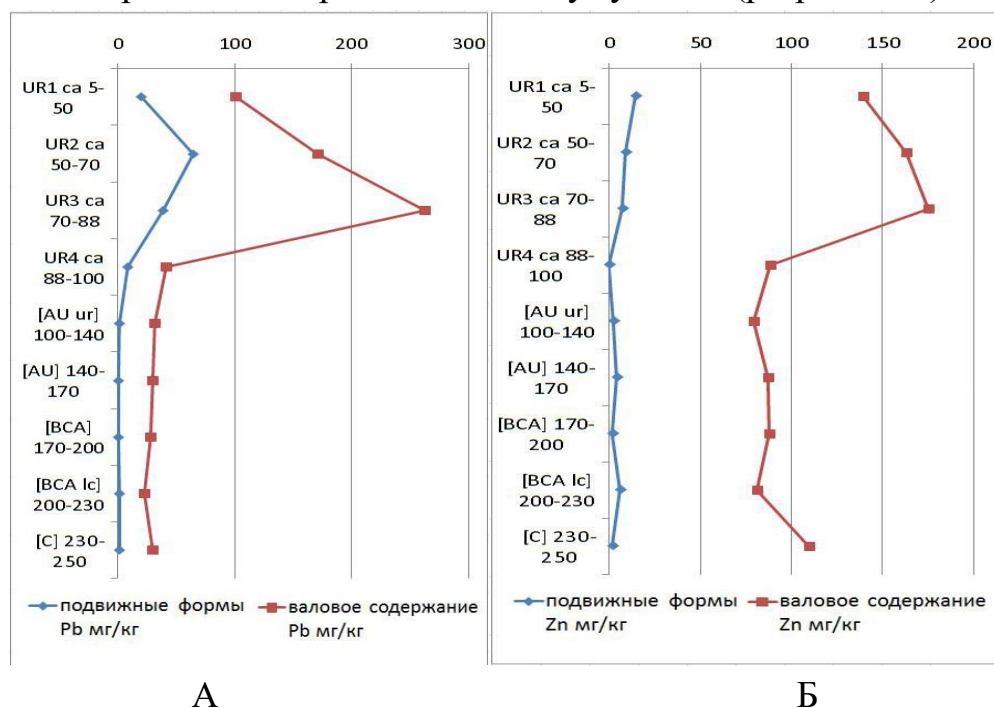
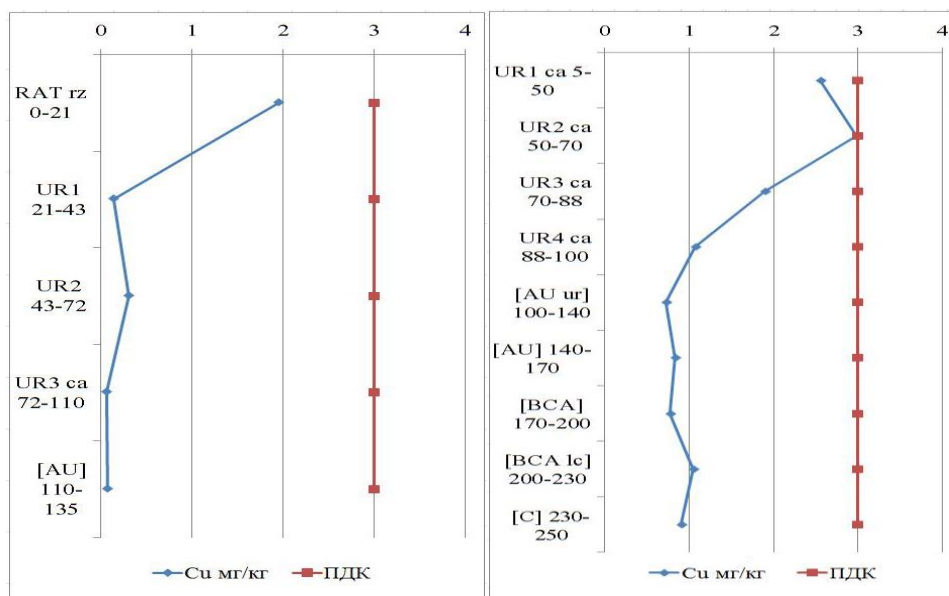


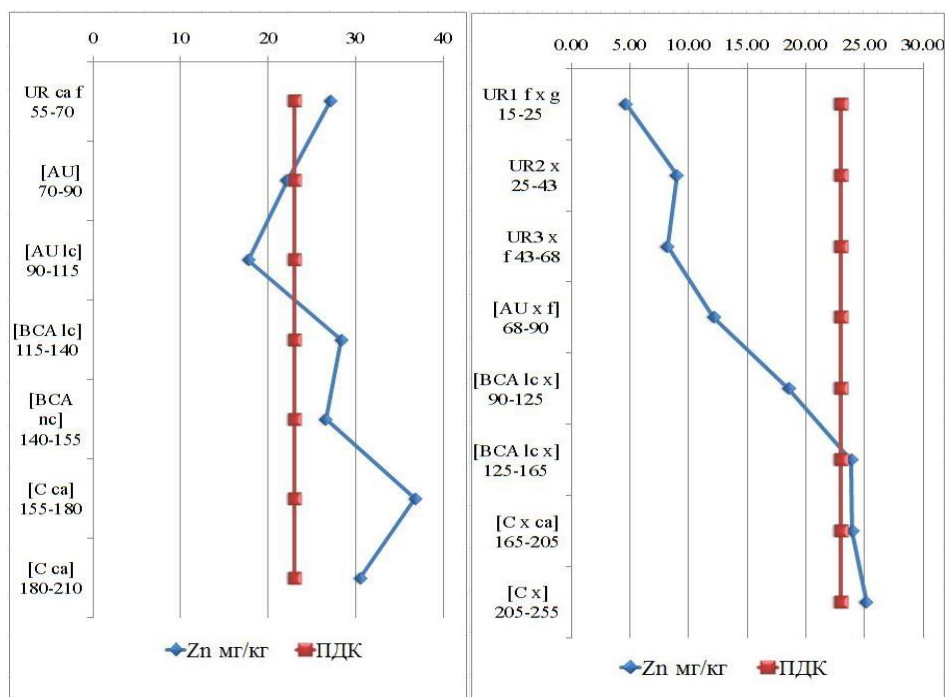
Рисунок 2 – Изменение валового содержания и подвижных форм свинца (А) и цинка (Б) по профилю экранированного урбостратозема на погребенном черноземе темногумусовом (разрез 1501)



А

Б

Рисунок 3 – Миграция подвижных форм меди в сравнении с ПДК по профилю: А – урбостратозем черноземовидный (реплантозем) на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном (разрез 1304); Б – экранированный урбостратозем на погребенном черноземе темногомусовом (разрез 1501).



А

Б

Рисунок 4 – Изменение по профилю валового содержания и подвижных форм цинка: А – экранированный урбостратозем на погребенном черноземе (разрез 1405); Б – урбостратозем экранированный химически загрязненный (хемоземе) на погребенном черноземе темногомусовом (разрез 1404).

На рисунках 5–13 приведен графический анализ взаимосвязи валового содержания элемента и его обменных форм с органическим и неорганическим углеродом, а также физической глины, интерполированных методом наименьших квадратов в программе STATISTICA.

В области значений валового содержания свинца до 50 мг/кг отсутствуют закономерности между количеством подвижного свинца и содержанием неорганического углерода (рис.5А). При антропогенном загрязнении (рис. 5Б) наблюдается связывающая роль карбонатов в отношении свинца. Причем эта закономерность справедлива как для черноземов, так и для урбостратоземов. В то же время антропогенез влияет на диапазон значений, в которых проявляется вышеуказанная связь. В естественных почвах максимум валового количества и обменных соединений свинца приходится на диапазон в содержании неорганического углерода от 2 до 7%, а такое количество может наблюдаться только в нижней части профиля, в горизонтах ВС и С.

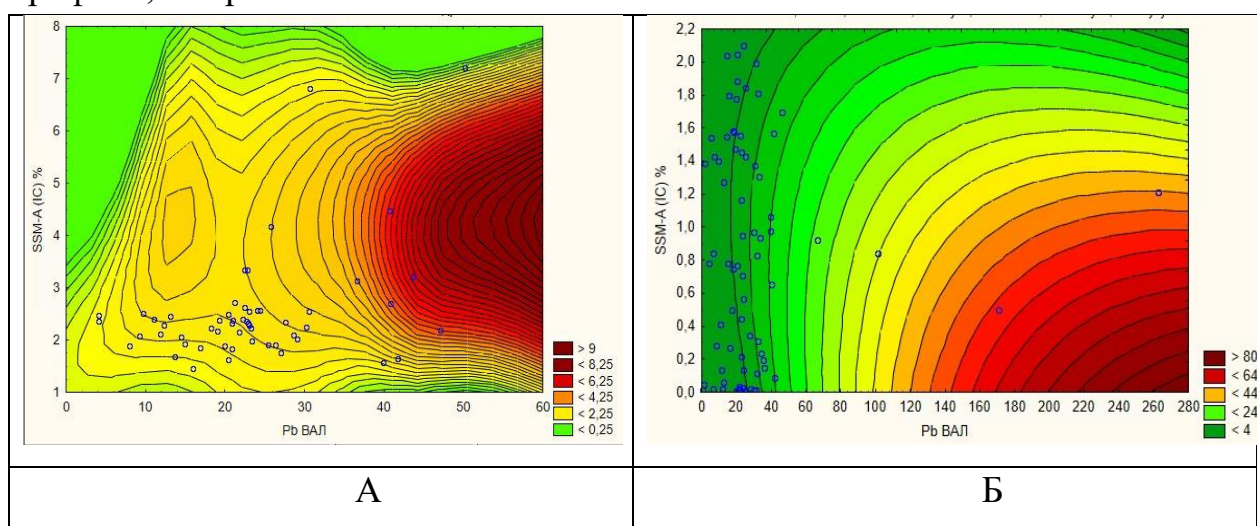


Рисунок 5 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм свинца в зависимости от содержания неорганического углерода в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

В урбостратоземах наивысшие значения и валового содержания (140–280 мг/кг) и обменных форм (64–80 мг/кг) лежат в пределах содержания углерода карбонатов от 0 до 0,9%, т. е. это поверхностные слои, и убедительное свидетельство антропогенного происхождения рассматриваемого ТМ. На рисунке 6 показаны закономерности распределения обменных форм свинца в зависимости от его валового содержания и количества органического углерода. Так же, как и с неорганическим углеродом, при валовом содержании свинца ниже ПДК, доля обменных форм невысокая.

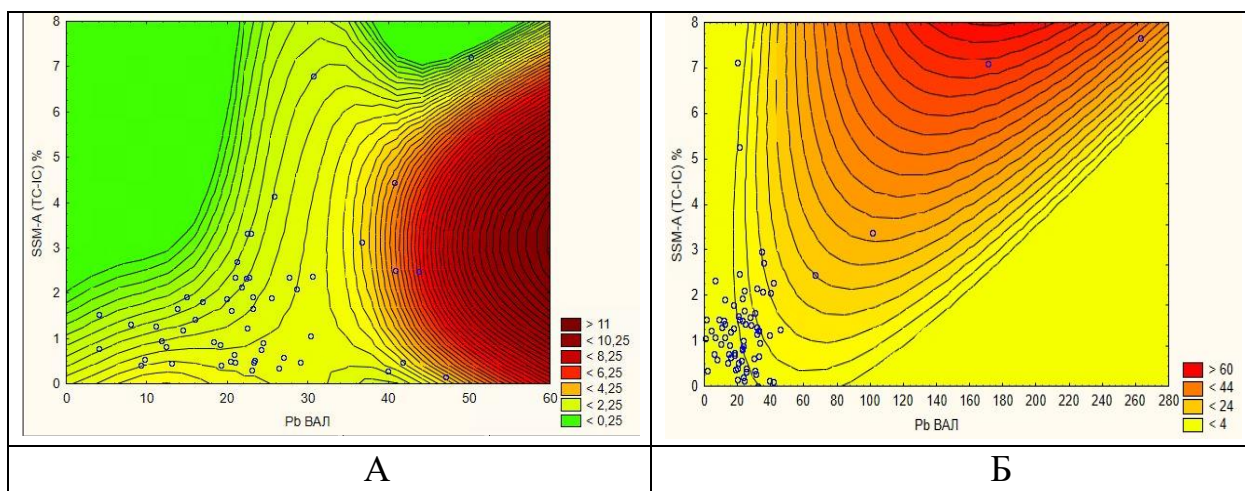


Рисунок 6 – График взаимного распределения валового содержания и подвижных форм свинца в зависимости от содержания углерода гумуса в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

При антропогенном загрязнении увеличивается и подвижность свинца, причем это увеличение происходит синхронно с ростом содержания органического углерода.

Ожидаемые результаты показала графическая интерпретация взаимосвязи обменных форм свинца с его валовым количеством и содержанием физической глины (рис.7).

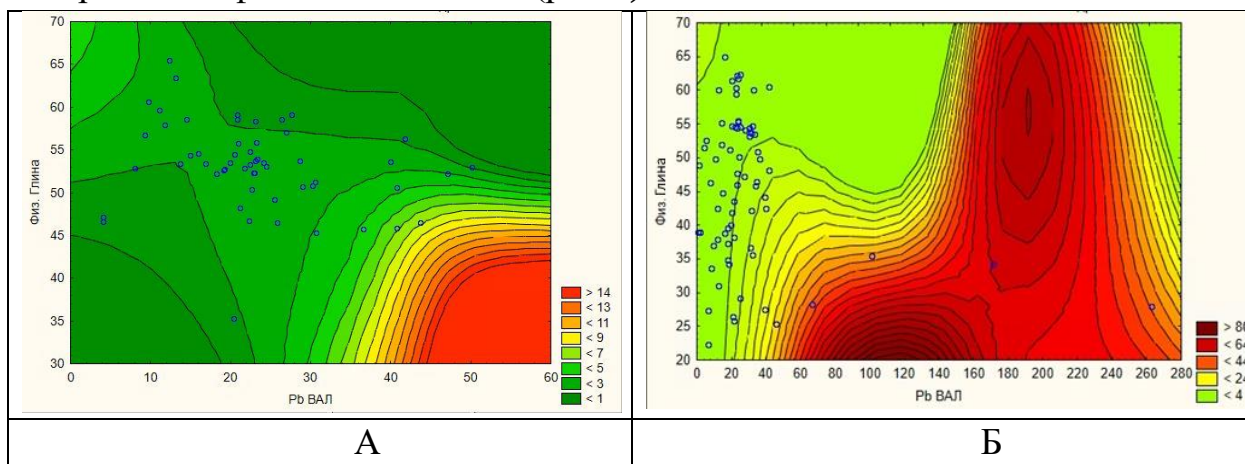


Рисунок 7 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм свинца в зависимости от содержания физической глины в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

В черноземах максимальное количество подвижного свинца приходится на фракцию средней глины. В то же время в урбостратоземах наблюдается наличие двух максимумов: в диапазоне содержания физической глины 20–35% при общем пуле 55–180 мг/кг свинца и в диапазоне 35–70% физической глины при очень высоком загрязнении – 5–7 ПДК. Вероятно, в первом

максимуме концентрируются более крупные частицы свинца, а тяжелые фракции сорбируют более мелкие частицы металла.

Аналогичные зависимости были изучены и для цинка (рис.8–9). Четко прослеживается закономерность: в черноземах обыкновенных карбонатных содержание обменного цинка увеличивается с ростом содержания органического углерода. В антропогенно-измененных почвах такая закономерность отсутствует.

В черноземах неорганический углерод, представленный преимущественно карбонатами, при условии его высокого содержания, влияет на накопление подвижного цинка, причем при сравнительно невысоком валовом содержании (40–60 мг/кг). Наиболее высокую подвижность этот металл проявляет при низком валовом содержании цинка и достаточно высоком содержании карбонатов 13–18%. Такие высокие значения могут наблюдаться в экраноземах при наличии подушки из дробленной тырсы (известняка-ракушечника).

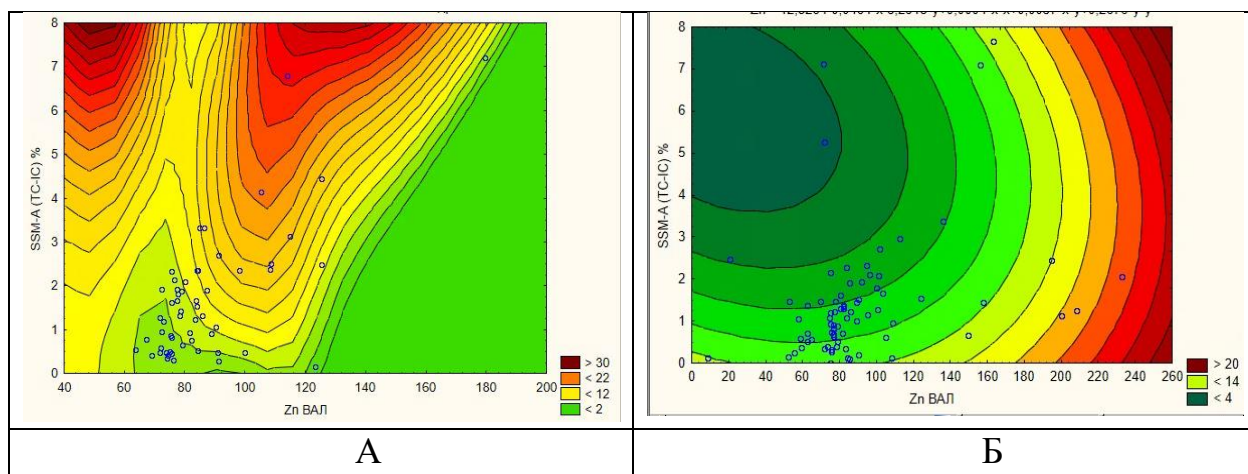


Рисунок 8 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм цинка в зависимости от содержания углерода гумуса в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах

Второй максимум приурочен к области с повышенным валовым содержанием цинка – в пределах 240–260 мг/кг. Наименьший уровень подвижности цинка отмечается в незагрязненных урбостратоземах при значениях неорганического углерода, стремящихся к нулю.

Содержание обменных форм цинка при невысоком валовом его количестве возрастает до 30 мг/кг и выше в легкоглинистых черноземах (рис. 10).

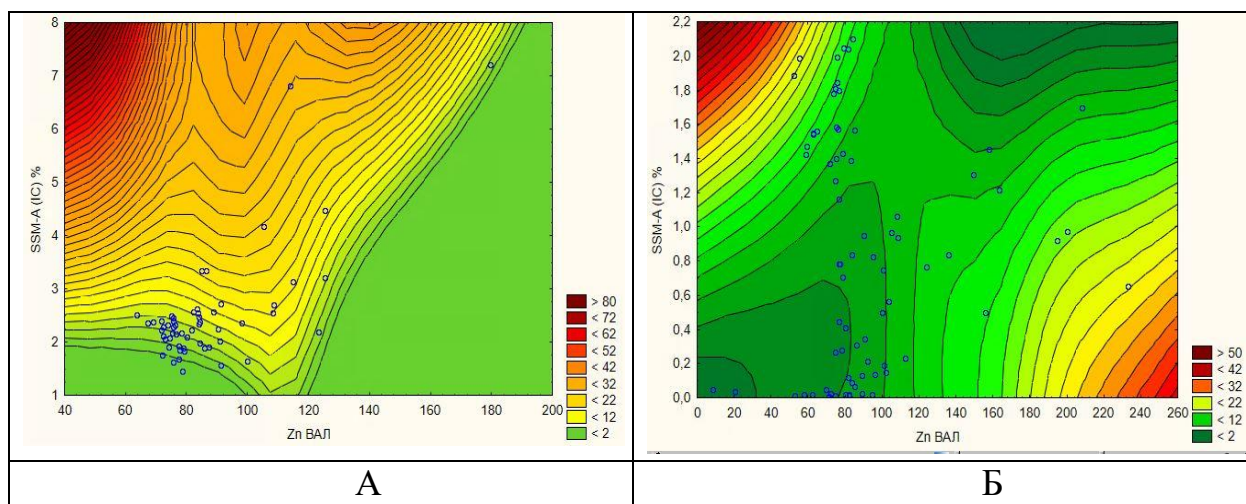


Рисунок 9 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм цинка в зависимости от содержания неорганического углерода в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

Для антропогенно-измененных почв характерно содержание подвижного цинка на уровне ПДК и выше при любом гранулометрическом составе. Так, наиболее высокое его количество отмечено при содержании физической глины от 0 до 25%, когда общий пул металла составляет 100–140 мг/кг. Второй максимум отмечается при загрязнении 2,5 ПДК в широком диапазоне физической глины 20–60%. Третий – при относительно невысоком общем содержании цинка приурочен к легкоглинистым частицам.

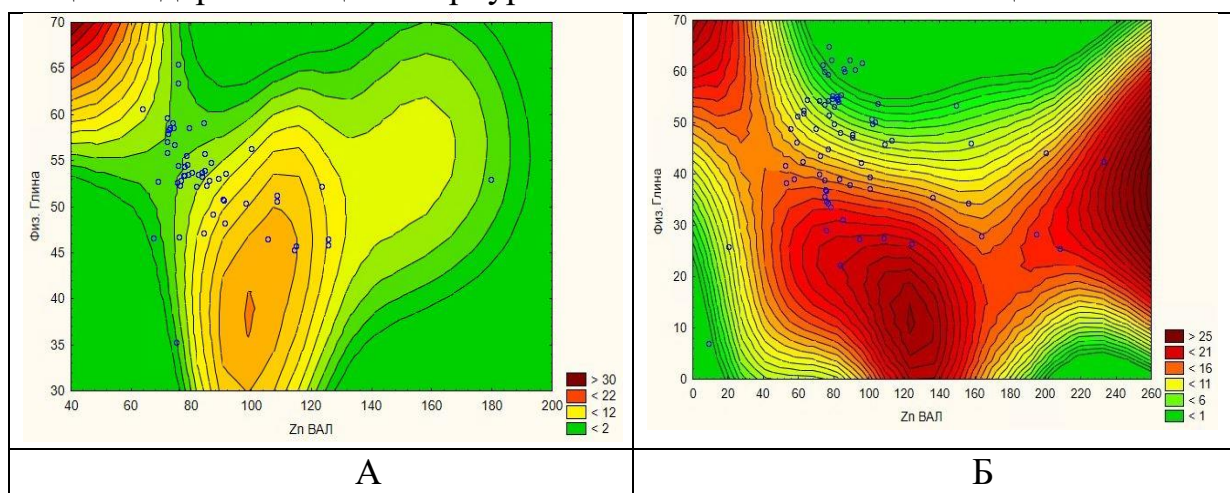


Рисунок 10 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм цинка в зависимости от содержания физической глины в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

Содержание обменных форм меди как в черноземах обыкновенных, так и урбостратоземах невысокое. Тем не менее, некоторые закономерности можно отметить и для распределения меди (рис.11–13).

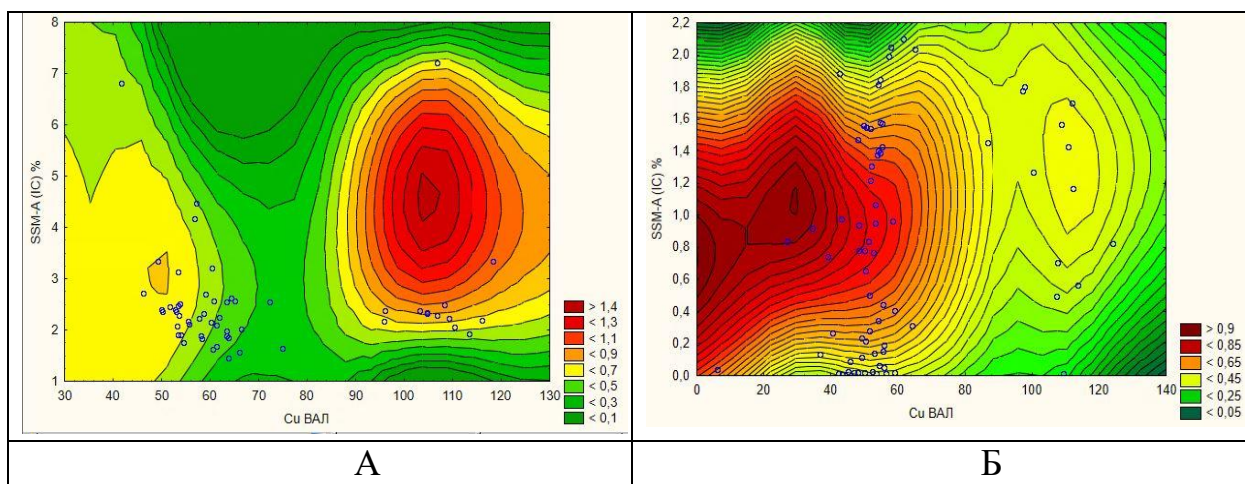


Рисунок 11 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм меди в зависимости от содержания неорганического углерода в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

В черноземах подвижные соединения меди приурочены к карбонатному барьеру и материнской породе, а в урбостратоземах – к поверхностным горизонтам незагрязненных почв. При загрязнении содержание обменных форм меди снижается до минимума.

Содержание органического углерода в черноземах обыкновенных мало влияет на накопление подвижных соединений меди (рис. 12). И только при возрастании загрязнения медью до уровня свыше 1,5 ПДК наблюдается увеличение количества обменных форм металла выше 0,7 мг/кг. В урбостратоземах еще более высокое содержание обменных соединений цинка (2 мг/кг и выше ПДК) наблюдается при содержании углерода гумуса в пределах 6–8%.

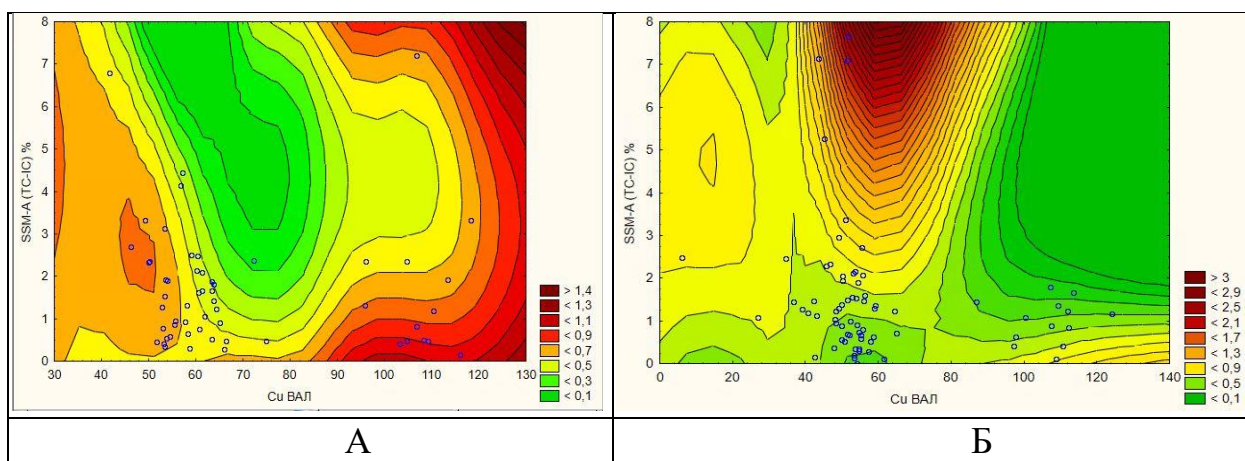


Рисунок 12 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм меди в зависимости от содержания углерода гумуса в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

Такое высокое количество органического вещества на территории Ростовской агломерации встречается только в лесопосадках. К сожалению, экологическое и санитарное состояние их далеко от идеального – встречаются иногда даже несанкционированные складирование ТБО и строительного мусора. Однако медь, скорее всего попадает в почву древесных массивов при их обработке медьсодержащими фунгицидами.

В черноземах обыкновенных обменные формы меди концентрируются в легкоглинистой фракции в диапазоне валовых количеств металла от 30 до 80 мг/кг (рис. 13). При более высоком валовом содержании меди ее подвижность резко снижается.

Можно отметить тенденцию к росту подвижности при валовом содержании меди 25–55 мг/кг в легких фракциях, и рост до 1 мг/кг обменных соединений меди во фракции легкой глины при загрязнении свыше 2 ПДК.

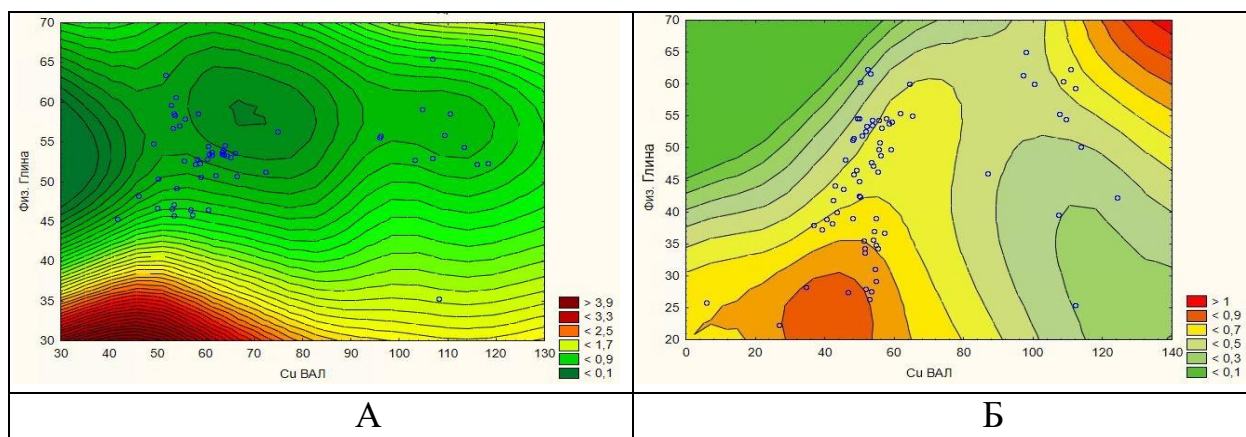


Рисунок 13 – График взаимного распределения валового содержания и обменных форм меди в зависимости от содержания физической глины в естественных (А) и антропогенно-измененных (Б) почвах.

3.3 Распределения цинка, меди и свинца в разных структурных фракциях

Оценка содержания тяжёлых металлов производилась в соответствии с нормативом СанПин 1.2.3685-21, который определяет предельно допустимые концентрации ПДК и ориентировочно допустимые концентрации ОДК в почвах.

В черноземах миграционно-сегрегационных обнаружено содержание подвижной меди на уровне 1 ПДК во фракциях >10 мм – в двух точках и 5–7 мм – в 1 точке. Все остальные показатели находятся в норме. В урбостратоземах фиксируются превышения валового содержания цинка и свинца. Цинк на уровне 1–1,5 ОДК превышен во всех фракциях. Для фракции

<0,25 мм имеются 2 превышения, для остальных по 1 превышению. Подобное распределение обнаружено и по свинцу, однако во фракции <0,25 мм имеется выброс с результатом 5,5 ОДК.

В урбостратоземах фиксируются превышения валового содержания цинка и свинца. Цинк на уровне 1–1,5 ОДК превышен во всех фракциях. Для фракции <0,25 мм имеются 2 превышения, для остальных по 1 превышению. Подобное распределение обнаружено и по свинцу, однако во фракции <0,25 мм имеется выброс с результатом 5,5 ОДК.

Таким образом можно отметить, что в целом изученные почвы не являются загрязненными. Однако в урбостратоземах имеются локальные загрязнения по цинку и свинцу чаще всего не превышающие 2 ОДК.

Содержание кислоторастворимых форм цинка увеличивается в агрегатных фракциях черноземов в ряду: <0,25; 5–7; 3–5; 1–2; >10 мм, в урбостратоземах распределение иное: <0,25; 3–5; 1–2; >10; 5–7 мм (табл. 1). Максимумы валового содержания цинка обнаружены во фракции менее 0,25 мм, однако содержание кислоторастворимых форм в этой фракции минимальное.

Таблица 1. Медиана и среднее содержание кислоторастворимых форм Zn, Cu, Pb по структурным фракциям в черноземах и урбостратоземах

Структурная фракция	Показатель	Черноземы			Урбостратоземы		
		Zn мг/кг	Cu мг/кг	Pb мг/кг	Zn мг/кг	Cu мг/кг	Pb мг/кг
<0,25 мм	среднее	0,02	1,5	1,23	0,04	0,46	0,11
	медиана	0,01	1,28	1,2	0,03	0,23	0,07
1–2 мм	среднее	0,06	1,63	1,34	0,05	0,34	0,07
	медиана	0,06	1,39	1,29	0,04	0,2	0,07
3–5 мм	среднее	0,05	1,29	1,23	0,04	0,35	0,07
	медиана	0,03	1,25	1,23	0,03	0,2	0,07
5–7 мм	среднее	0,04	1,49	1,28	0,06	0,29	0,07
	медиана	0,02	1,23	1,22	0,07	0,18	0,07
>10 мм	среднее	0,07	1,56	1,19	0,05	0,25	0,07
	медиана	0,07	1,37	0,92	0,05	0,21	0,07

В связи с этим можно отметить значимость данной агрегатной фракции в связывании цинка и нейтрализации токсического воздействия на биосферу. Вместе с тем высокое содержание агрегатов размеров <0,25 мм снижает противозерозионную стойкость почвы, что объективно может способствовать загрязнению сопредельных сред.

Содержание кислоторастворимых форм меди увеличивается в агрегатных фракциях черноземов в ряду: 5–7; 3–5; <0,25; >10; 1–2 мм, для урбостратоземов: 5–7; 1–2; 3–5; >10; <0,25 мм. Фракция 5–7 мм характеризуется минимальным содержанием меди и в урбостратоземах, и в черноземах. В целом содержание подвижной меди ниже в урбостратоземах, чем в черноземах.

Содержание кислоторастворимых форм свинца увеличивается в агрегатных фракциях черноземов в ряду: >10; <0,25; 5–7; 3–5; 1–2 мм, в урбостратоземах: 5–7; 1–2; >10; <0,25; 3–5 мм. Свинец – единственный из изученных металлов имеет различные фракции с минимальным его содержанием для подвижной формы в черноземах и урбостратоземах. Содержание кислоторастворимых форм свинца в агрегатных фракциях черноземов и урбостратоземов однородное.

4. ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Для определения локальных территорий, где концентрации металлов превышают нормативные уровни и могут создавать потенциальную угрозу, а также предоставления визуальной информации о распределении тяжелых металлов в поверхностном горизонте почв различных функциональных зон Ростова-на-Дону, был проведен пространственный анализ с построением картосхем по каждому отдельно взятому изучаемому элементу. Для унификации интервалы были выстроены на основе коэффициента техногенной аномальности элемента:

$K_c = C_i \div C_{\phi i}$, где C_i – фактическое содержание i -го элемента в пробе, мг/кг; $C_{\phi i}$ – фоновое содержание i -го элемента, мг/кг. За фоновое содержание приняты данные, приведенные в работе В. А. Акимцева с соавторами (1962).

А для дифференцированной оценки загрязнения были рассчитаны суммарный показатель загрязнения (СПЗ, или Z_c) по Ю.Е. Саету с соавторами (1990) и суммарный показатель токсического загрязнения СПТЗ.

$Z_c = \sum K_{ci} - (n-1)$, где n – количество загрязняющих веществ.

$СПТЗ = \sum K_{ci} K_m - (n-1)$, где K_m – коэффициент токсичности химического элемента, зависимый от его класса опасности.

Наибольшее накопление свинца наблюдается в историческом центре города, а также на основных трассовых развязках, на въездах в город, например в районе Ворошиловского моста. В данных местах зафиксированы значительные превышения фоновых значений содержания металла – в 3–19

раз. Ближе к периферии города содержание элемента постепенно снижается. Причем снижение прямо пропорционально развитости дорожно-транспортной сети и плотности дорожного трафика. В дельте Дона, где распространены легкие по гранулометрическому составу аллювиальные отложения, содержание свинца меньше фонового значения.

Напротив, максимумы содержания меди (превышающие фоновую величину более, чем вдвое) в поверхностном слое почв Ростовской агломерации приурочены к массивам зеленых насаждений северо-восточной части Ростова-на-Дону и Батайска. Вероятно, повышенное содержание в этих частях городов обусловлено применением медьсодержащих препаратов, прежде всего медного купороса.

На большей части территории концентрация хрома либо несколько выше фона, либо несколько ниже. Наблюдается несколько пятен в центральной части города с содержанием, превышающим фоновое в 1,25–1,5 раза, все они приурочены к территориям производственных предприятий. На участках с развитой древесной растительностью (Ботанический сад ЮФУ, Щепкинский лес), содержание элемента снижается до диапазона значений от 0,75 до 1 фонового содержания.

Город характеризуется повышенным содержанием цинка в поверхностном горизонте почв. Накопление этого металла наблюдается в почвах наиболее урбанизированных территорий города, на промышленных территориях левого берега Дона, а также вдоль основной ветки железной дороги южного направления.

В наиболее урбанизированных районах города наблюдается превышение фоновых значений содержания марганца, в полтора раза. Повышенное содержание элемента, превышающее фон в 1,5 раза, выявлено на территории Щепкинского леса. Небольшие пятна с пониженным содержанием марганца приурочены к тем же участкам пойменных почв с легким гранулометрическим составом.

Суммарный показатель техногенной концентрации позволяет оценить территорию на предмет полиметалльного её загрязнения. Расчет этого коэффициента показал, что уровень загрязнения почвенного покрова Ростовской агломерации по шкале оценки загрязнения земель минимальный. Территория с максимальной величиной Z_c (10–16), уровень загрязнения которой, тем не менее, оценивается как минимальный, приурочена к грузовым районам Ростовского порта на правом и левом берегу р. Дон (рис.14).

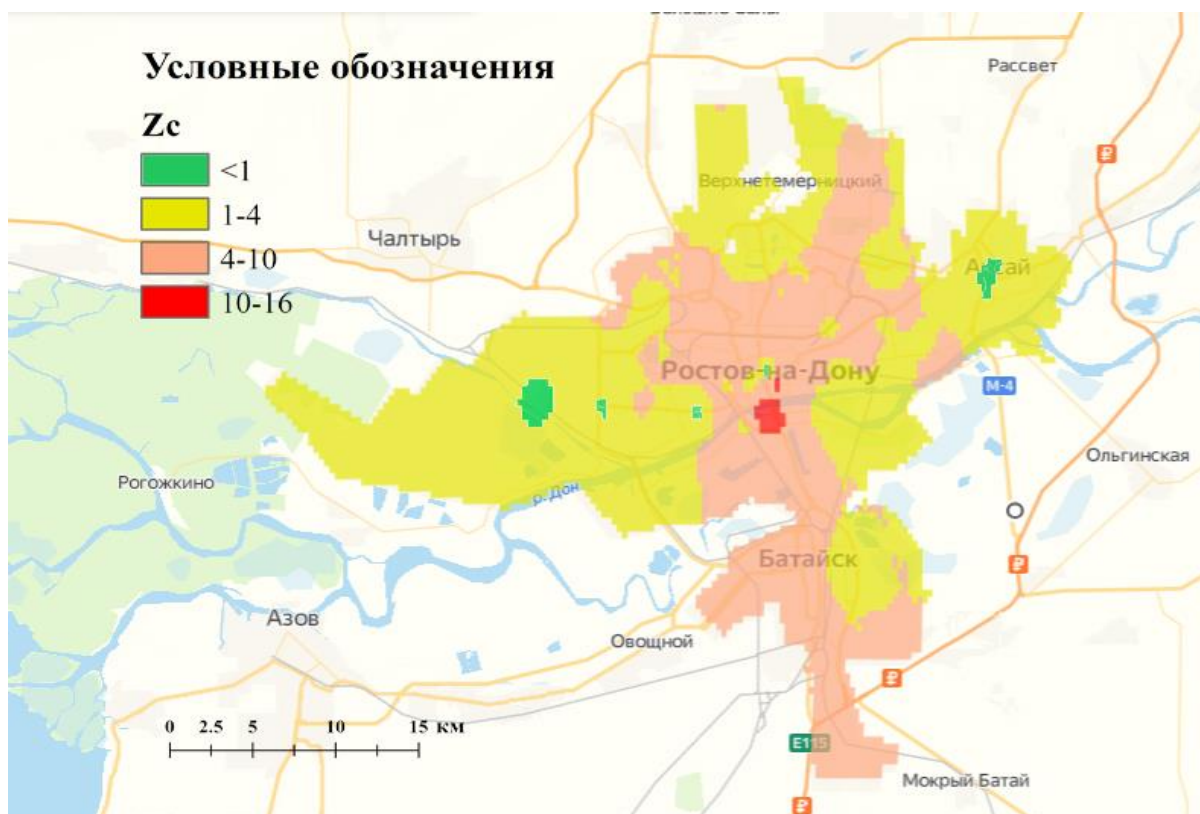


Рисунок 14 – Картограмма оценки загрязнения почв Ростовской агломерации по величине коэффициента техногенной концентрации Z_c .

Более дифференцированные результаты показал суммарный показатель токсического загрязнения. Основной вклад в величину СПТЗ вносят свинец и цинк за счет высоких показателей Z_c . Однако оценочная шкала по этому показателю не разработана, а если применить ту же оценочную шкалу, что существует для Z_c , то вывод такой же: в целом почвы агломерации характеризуются минимальным уровнем токсического загрязнения.

Рисунок 15 показывает, что несмотря на общую благоприятную обстановку, функциональные зоны Ростовской агломерации по этим двум оценочным показателям различаются. Селитебная и рекреационная зоны в среднем имеют одинаковые оценки по Z_c , показатель токсического загрязнения в рекреационной зоне чуть ниже, но это величины одного порядка. Промышленная зона характеризуется более высоким уровнем загрязнения, причем величины этих показателей в промышленной зоне в 1,6–1,7 раза выше, чем в селитебной и рекреационной.

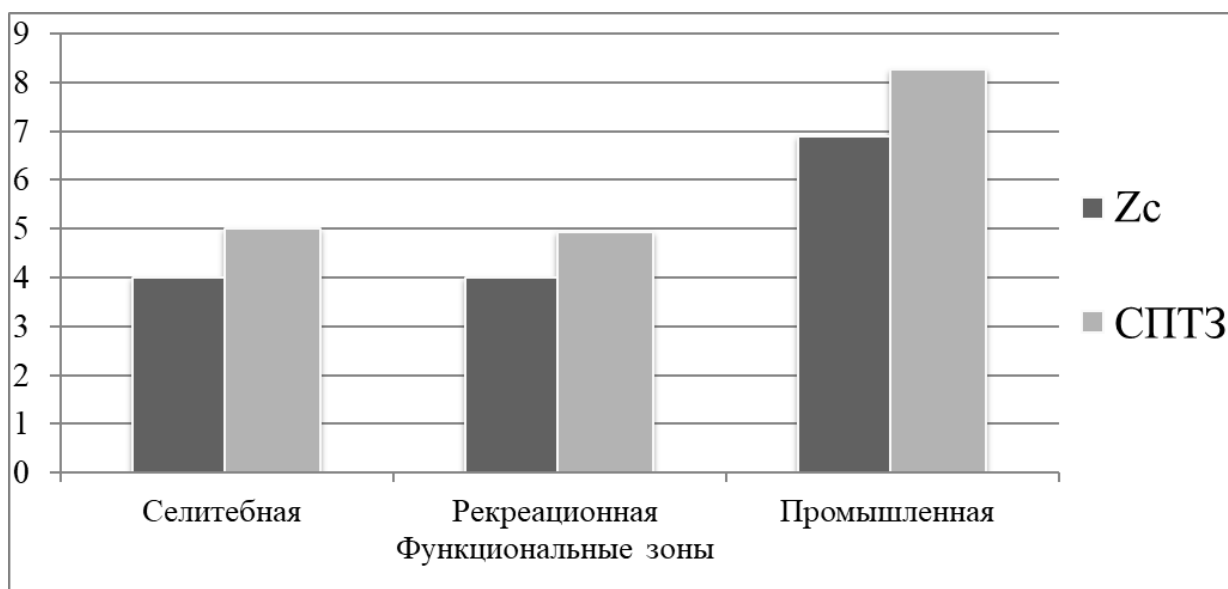


Рисунок 15 – Уровни показателей техногенного загрязнения в разных функциональных зонах Ростовской агломерации

ВЫВОДЫ

1. Для антропогенно-измененных почв Ростовской агломерации аккумуляция свинца характерна, прежде всего, для горизонтов урбик. Вниз по профилю содержание подвижных форм металла снижается, что связано с переходом поллютанта из подвижного в труднодоступное состояние в зоне карбонатного барьера. Такое распределение может указывать на то, что металл поступает в почву с транспортными выбросами выхлопных газов. Наибольшие концентрации подвижных форм поллютанта, превышающие ПДК, зафиксированы в почвах придорожных полос отчуждения и газонов улиц с высоким автомобильным трафиком. При антропогенном загрязнении проявляется связывающая роль карбонатов в отношении свинца: чем выше валовое содержание свинца, тем больше доля обменных соединений этого элемента в общем количестве. Эта закономерность была отмечена как в черноземах, так и в урбостратоземах.

2. Схожие закономерности наблюдаются и по подвижным формам меди. Максимумы накопления этого металла не превышают ПДК, но также приходятся на горизонты урбик. В естественных почвах зоны рекреации медь распределена по профилю черноземов практически равномерно. Превышения ПДК валового содержания меди зафиксированы только в почвах под лесными посадками в Ботаническом саду ЮФУ и парке Авиаторов, по подвижным формам превышений ПДК не обнаружено. В черноземах концентрация подвижной меди увеличивалась с ростом содержания органического углерода. В урбостратоземах подвижность меди была ниже, но при загрязнении

содержание обменных форм меди увеличивалось при низком общем содержании металла и низких значениях неорганического углерода.

3. Концентрация подвижных форм цинка увеличивается в нижней части профиля вплоть до значений, превышающих ПДК, что является результатом миграции этого металла из верхних горизонтов и его накоплением на карбонатном барьере. Высокое содержание цинка, превышающее ПДК, обнаружено в поверхностных горизонтах селитебных зон, что обусловлено их загрязнением с атмосферным переносом. Для цинка выявлена закономерность, раскрывающая роль органического углерода в связывании этого металла. В черноземах миграционно-сегрегационных содержание обменного цинка увеличивалось с ростом содержания органического углерода. Однако, в антропогенно-измененных почвах такая связь отсутствовала.

4. Содержание кобальта и хрома значительно ниже, чем остальных элементов. Наибольшую подвижность элементы имеют в гумусово-аккумулятивных горизонтах. Превышений уровня ПДК по подвижным формам этих элементов в почвах Ростовской агломерации не обнаружено.

5. Накопление марганца наблюдается в насыпных или антропогенно-измененных горизонтах, вниз по профилю содержание элемента снижается во всех разрезах. Причем, в наиболее урбанизированных районах города наблюдается превышение содержания элемента в поверхностных горизонтах до полутора раз относительно фоновых значений. При низкой степени антропогенного влияния наблюдается обратная корреляция между концентрацией элемента и содержанием физической глины. Превышений ПДК по подвижным формам и ОДК валового содержания марганца не выявлено.

6. Профиль городских почв Ростовской агломерации характеризуется весьма неоднородным распределением подвижных форм тяжелых металлов. Тем не менее, установлено, что генезис горизонтов урбик сопряжен с накоплением не только валовых, но и подвижных форм свинца, цинка и меди, что свидетельствует о наличии загрязнения этими металлами.

7. В условиях городской среды, независимо от степени воздействия антропогенного фактора, прослеживается зависимость профильного распределения подвижных форм тяжелых металлов от гранулометрического состава, концентрации органического вещества (приуроченность к гумусово-аккумулятивным горизонтам), повышенного содержания карбонатов кальция, наличия двучленности профиля за счет погребенных горизонтов, и многочленности за счет наличия нескольких разнохарактерных горизонтов урбик.

8. Максимальное концентрирование цинка наблюдается во фракциях <0,25 и 3–5 мм как в черноземах, так и в урбостратоземах Ростовской агломерации, напротив, медь и свинец сосредотачиваются в более крупных агрегатах черноземов. В урбостратоземах максимум валового количества свинца приурочен к глыбистым агрегатам, а меди к отдельностям размерностью 5–7 мм. Распределение подвижных соединений изученных металлов по фракциям структуры в целом диаметрально противоположно.

9. На территории Ростовской агломерации значительных превышений уровня ПДК по подвижным формам тяжелых металлов не выявлено, в целом загрязнение почвенного покрова оценивается как минимальное, но с учетом повышенных требований к экологическому состоянию почв ландшафтно-рекреационных территорий их уровень загрязнения оценивается как средний.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. Tagiverdiev S.S., Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Salnik N.V., Sherstnev A.K., **Plakhov G.A.** Certain Patterns of Zinc, Copper, and Lead Redistribution Across the Structural Fractions of Chernozems and Urbic Technosols // Environmental Monitoring and Assessment, 2023. V. 195, article number: 318. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10893-0> (Q2)

2. Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Okolelova A.A., Salnik N.V., Tagiverdiev S.S., **Plakhov G.A.** Particle-size distribution and heavy metals accumulation in soils of Rostov-on-Don // Key concepts of soil physics: development, future prospects and current applications, 27–31 May 2019, Moscow, Russian Federation, 2019. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 368 (2019) 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012009> (Без кватртя)

3. Gorbov, S.; Bezuglova, O.; **Plakhov, G.**; Ivolgina, V. Accumulation and migration of mobile forms of lead and copper in urban soils of the Rostov agglomeration // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Book number: 3.2. pp 3-8. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.001>(Без кватртя)

**Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в Перечень
рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК РФ**

4. Козырев Д.А., Горбов С.Н., Безуглова О.С., Бураева Е.А., Тагивердиев С.С., **Плахов Г.А.**, Сальник Н.В. Удельная активность радионуклидов и их взаимосвязь с валовым химическим составом почв // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2021. № 1 (209). С. 70–80. DOI 10.18522/1026-2237-2021-1-71-81.

5. **Плахов Г.А.**, Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научнопроизводственный журнал. – 2023. – № 4. DOI: <https://doi.org/10.51419/202134419>.