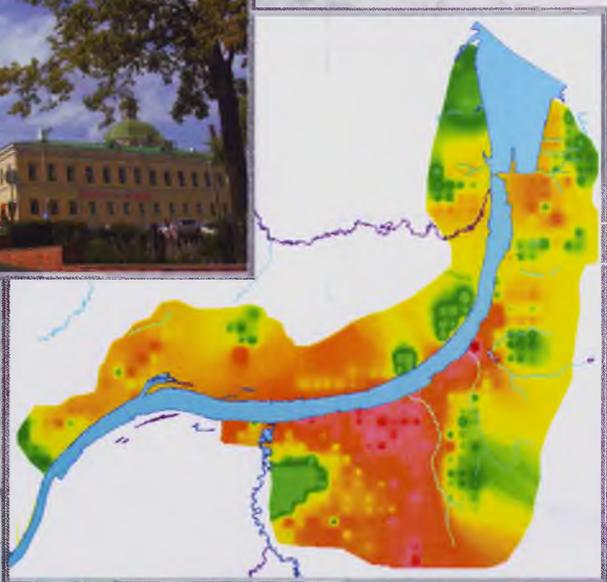
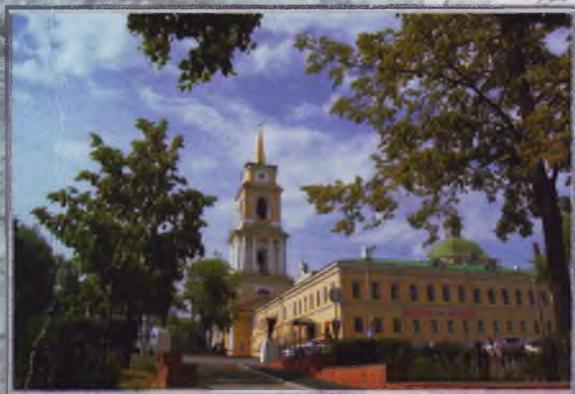


**А.А. Васильев, Е.С. Лобанова**

**МАГНИТНАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРЕДУРАЛЬЯ  
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕРМИ**



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пермская государственная сельскохозяйственная  
академия имени академика Д.Н. Прянишникова»

**А.А. Васильев, Е.С. Лобанова**

**МАГНИТНАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРЕДУРАЛЬЯ  
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕРМИ**

**Монография**

Пермь  
ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА  
2015

УДК: 631.48+504.5

ББК:

В-191

*Рецензенты: Сулейманов Р.Р., доктор биологических наук (Институт биологии УНЦ РАН, г. Уфа), Ворончихина Е.А., кандидат географических наук (ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь)*

**В-191 Васильев, А.А.**

**Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми [Текст]: монография. / А.А. Васильев, Е.С. Лобанова, М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2015. – 243 с.**

ISBN

В монографии изложены и обобщены сведения о проблеме загрязнения тяжелыми металлами и ферримагнетиками почв урбанизированных территорий. Дана характеристика природных и антропогенных факторов формирования почвенного покрова г. Перми. Рассмотрены морфогенетические, физико-химические и агрохимические свойства, минералогический, гранулометрический и валовой химический составы разномагнитных почв города. Детально проанализировано содержание, профильное и пространственное распределение, взаимосвязь ферримагнетиков и химических элементов в почвах г. Перми. Представлены картосхемы магнитной восприимчивости и содержания Ni, Cu, Zn, Pb, Cr в почвах города. Охарактеризована индикаторная роль магнитной восприимчивости при оценке загрязнения тяжелыми металлами почвиурбанизированных территорий Предуралья. Сделано предложения по совершенствованию классификации и диагностике городских почв с использованием методов магнитометрии.

Адресовано почвоведом, экологам, геохимикам, специалистам мелиоративных и земельно-кадастровых служб, студентам почвенных и экологических направлений подготовки высших учебных заведений, аспирантам и научным работникам.

Печатается по решению Ученого совета ФГБОУ ВПО «Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова».

**ISBN**

© ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2015

## Содержание

Введение.....	5
ГЛАВА 1. Городские почвы: генезис, состав, свойства....	7
1.1 Генезис, классификация и свойства городских почв.....	7
1.2 Тяжелые металлы в почвах городов: источники и эколого-геохимическая оценка их содержания.....	15
1.3 Магнитная восприимчивость городских почв и ее эколого-геохимическое значение .....	16
ГЛАВА 2. Условия формирования почвенного покрова г. Перми.....	40
2.1 Природные условия формирования почвенного покрова г. Перми.....	40
2.2 Антропогенные условия формирования почвенного покрова г. Перми.....	46
ГЛАВА 3. Морфогенетические, физические и физико-химические условия аккумуляции тяжелых металлов и ферримагнитных соединений в почвенном покрове г. Перми.....	50
3.1 Морфогенетическая характеристика основных типов почв .....	51
3.2 Физические свойства почв .....	61
3.3 Физико-химические и агрохимические свойства... ..	69
ГЛАВА 4. Магнитная восприимчивость почвенного покрова г. Перми.....	77
4.1 Закономерности профильного и территориального распределения магнитной восприимчивости.....	78
4.2 Динамика объемной магнитной восприимчивости почв.....	101
ГЛАВА 5. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова г. Перми.....	105
5.1 Макроэлементы.....	105
5.2 Тяжелые металлы и мышьяк.....	116
5.2.1 Профильное распределение тяжелых металлов и мышьяка.....	116

5.2.2 Территориальное распределение тяжелых металлов и мышьяка.....	124
5.3.3 Взаимосвязь тяжелых металлов и мышьяка.....	137
5.2.4 Содержание подвижных форм тяжелых металлов и железа.....	139
ГЛАВА 6. Индикационное значение магнитной восприимчивости почв.....	144
6.1 Состав и содержание минералов железа.....	144
6.2 Магнитная восприимчивость почв как индикатор их элементного химического состава.....	155
6.2.1 Эколого-геохимическая оценка разномагнитных почв.....	156
6.2.2 Оценка взаимосвязи концентрации химических элементов и величины магнитной восприимчивости.....	174
Заключение.....	186
Список сокращений и условных обозначений.....	188
Словарь терминов.....	191
Список использованных источников литературы.....	207

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время элементное химическое загрязнение почвенного покрова урбанизированных территорий является одной из самых актуальных проблем для науки и общественности. Тяжелые металлы (ТМ) в почвах тесно ассоциированы с магнетитом, маггемитом и другими ферримагнетиками (ФМ), что позволяет использовать полевые и лабораторные методы изучения магнитных свойств почвенного покрова для диагностики загрязнения почв ТМ. Измерение магнитной восприимчивости (МВ) – один из наиболее распространенных методов характеристики магнетизма почв [8, 118, 278, 300]. Однако, в ряде случаев, из-за особенностей техногенной магнитно-геохимической специализации или геологических условий территории, между величиной МВ и концентрацией ТМ в почвах прямая связь отсутствует или она обратная [148, 160, 256, 294, 315], что определяет актуальность изучения этой проблемы на региональном уровне.

Город Пермь – мегаполис с населением свыше 1 млн. человек – является крупным центром многоотраслевой промышленности и энергетики на востоке Европейской части России. Несмотря на исследования Е.А. Ворончихиной [47, 49, 50], О.З. Ерёмченко [2005], М.Н. Власова [34], М.А. Шишкина [258], Р.В. Кайгородова [110], А.В. Романовой [203], И.С. Копылова [124] и др., гетерогенность магнитной фазы и элементного химического состава почв г. Перми на профильном и территориальном уровне охарактеризована недостаточно, а закономерности взаимосвязи между величиной МВ и концентрацией ТМ в почвах города изучены не в полной мере. Сведения о МВ почв города до настоящего времени не систематизированы, картографический анализ магнитного состояния почвенного покрова города не осуществлен.

Материалы монографии включают исследования, выполненные авторами в период с 2005 по 2012 годы. Теоретической основой исследований послужили идеи и принципы

эколого-геохимической оценки почв, разработанные В.В. Глазовской [61], Н.С. Касимовым [113], В.Б. Ильиным [102], В.В. Добровольским [83], А.И. Перельманом [180], В.А. Алексеенко [6], С.И. Колесниковым [121], М.С. Паниным [177], Ю.В. Робертус [200], Е.Г. Языковым [263] и учтены результаты магнито-геохимических исследований Э.А. Молоствовского [160], В.П. Ковриго [118], Ю.И. Кудрявцева [133], М.А. Гладышевой [60], А.А. Нульман [172], О.А. Страдиной [224], А.Н. Чащина [248], М.В. Решетникова [199], М.Н. Строгановой [227], Л.А. Ширкина [256], L. Vityukova [272], X. Hu [2010], J. Zawadzki [315] и других.

Авторы выражают признательность за сотрудничество и ценные консультации при подготовке материалов монографии д-ру с.-х. наук Ю.Н. Водяницкому и благодарят за участие в проведении исследований д-ра с.-х. наук А.Т. Савичева, д-ра геолого-минерал. наук В.В. Коровушкина, научного сотрудника А.И. Пушкина и студентов ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА М.В. Калинину, Т.Ю. Килину, Н.В. Трегубову, М.А. Кривошекову, Н.С. Останину, А.Н. Силину, О. Перминову.

# ГЛАВА 1. ГОРОДСКИЕ ПОЧВЫ: ГЕНЕЗИС, СОСТАВ, СВОЙСТВА

## 1.1 Генезис, классификация и свойства городских почв

Почвы городов формируются под действием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но антропогенный фактор на урбанизированных территориях является определяющим [226]. Деятельность человека оказывает влияние на преобразование всех факторов почвообразования: климата, рельефа, почвообразующих пород, растительности. В атмосфере крупных городов создаются острова тепла и пыли, которые изменяют количество осадков и температуру воздуха. Центральная часть агломераций обычно теплее, чем ее окраины. Над городами выпадает большее количество осадков и выше интенсивность ливней. На территории городов деятельность человека приводит к значительному изменению рельефа. В процессе городского строительства происходит выравнивание поверхности, засыпка долинно-балочной сети, создание новых элементов рельефа. Почвообразующими породами для городских почв служат не только естественные почвообразующие породы, но и культурный слой, техногенные насыпные грунты. В городах, кроме зональной растительности, появляются виды растений характерные для более южных регионов [57, 225]. В результате прямого воздействия человека на строение, состав и свойства природных почв создаются новые городские почвы, абсолютно отличающиеся от природных.

Термин «городские почвы» впервые был введен J.G. Voskheim в 1974 году [273]. М.И. Герасимовой и др. [57] предложено следующее определение городской почвы – «это антропогенно-измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием, погребением или загрязнением природной почвы

материалом урбаногенного происхождения, в том числе «строительно-бытовым мусором» (С. 208).

И.В. Савич и соавторы [205] трактуют понятие «городские почвы» широко и относят к ним почвы парков, скверов, дворовых площадок, почвогрунты под зелеными насаждениями на искусственных основаниях, а также почвы особо охраняемых природных территорий, почвы водоохраных зон, почвы детских площадок и зеленых насаждений детских садов. Следовательно, при систематике городских почв этим коллективом ученых учитывается функциональное зонирование территории городов.

В России впервые *профильно-генетическую* систематику почв и почвоподобных тел городов лесной зоны европейской территории России подробно разработали М.Н. Строганова с соавторами [225, 226]. Данная систематика основана на особенностях морфологического строения почвенного профиля, особенностях почвообразующих пород и поверхностных грунтов. Поверхностные тела открытых, частично озелененных территорий предложено разделять на группы почв: естественных ненарушенных, естественных антропогенно-поверхностно-преобразованных, антропогенно-глубоко-преобразованных и искусственно созданных почвоподобных образований – техноземов. Кроме того, на открытых поверхностях города авторами классификации выделены непочвенные образования – насыпные, перемешанные, намывные, техногенные и природные грунты.

Естественно-ненарушенные почвы сохраняют нормальное залегание горизонтов естественных почв и приурочены к городским лесам и лесопарковым территориям, расположенным в черте города. Эти городские почвы диагностируются в соответствии с принятыми классификациями, в том числе в соответствии с Классификацией и диагностикой почв СССР [116].

Антропогенно-поверхностно-преобразованные естественные почвы (урбо-почвы) сочетают горизонт «урбик» - U или A<sub>Yur</sub> мощностью менее 50 см и ненарушенную среднюю и нижнюю часть профиля. При этом сохраняется типовое название почв с добавлением «урбо», например, урбо-дерново-подзолистые или урбо-дерново-глеевые почвы.

Антропогенно-глубоко-преобразованные почвы имеют диагностический урбиковый горизонт (U) мощностью более 50 см. В зависимости от механического или химического преобразования они делятся на собственно урбаноземы, техноземы, культуроземы, индустроземы и т.д.

Преобладающим типом городских почв по М.Н. Строгановой [226], являются урбаноземы. Они характеризуются отсутствием естественно-исторических генетических горизонтов до глубины 0,5 м. Горизонты профиля урбаноземов представлены культурными отложениями, состоящими из гумусированного пылеватого субстрата разной мощности и состава с примесью городского мусора. Формируются урбаноземы на грунтах разного генезиса или культурном слое. Культурный слой - это слой земли на месте поселения человека, который сохранил следы его жизнедеятельности. Искусственно образованные почвенные слои обозначаются индексом «U» (от «urbanization») с использованием цифр 1, 2, ..., указывающих на последовательность расположения горизонтов в профиле: U1, U2, U3 и так далее.

Из техноземов на городских территориях доминируют реплантоземы. Это искусственно-созданные образования сформированные путем планировки поверхности строительных площадок. Маломощный гумусовый слой, слой торфокомпостной смеси или слой органо-минеральных веществ разравнивается на поверхности пород или грунтов, оставшихся после строительства [57]. Реплантоземы являются самыми молодыми из городских почв [238, 252]. Часто они преобладают в районах многоэтажной застройки [86].

Профильно-генетическая классификация М.Н. Строгановой нашла широкое применение при изучении почв урбанизированных территорий [155, 197, 204, 243, 248; и др.].

*Субстантивная* «Классификация и диагностика ...» [115] включает в себя и классификацию техногенных поверхностных образований (ТПО). «ТПО – это целенаправленно сконструированные почвоподобные тела, а также остаточные продукты хозяйственной жизнедеятельности, состоящие из природного или специфического новообразованного субстрата» (С. 274). Система таксономических единиц ТПО, состоит из двух уровней: группы и подгруппы. Группы ТПО представлены квазиземами, натурфабрикатами, артификабрикатами, токсифабрикатами, которые выделяются по способности их материала к последующему использованию и возобновлению почвообразования при поселении растительности. Подгруппы ТПО диагностируются в пределах групп на основании их вещественного состава: минералогического, органического, смешанного. В группу квазиземов входят группы – реплантаземы и урбиквазиземы; натурфабрикатов – абралиты, органостраты и др.; артификабрикатов – артииндустраты, артиурбистраты; токсифабрикатов – токсииндустраты, токсифимостраты и др. Подгруппа урбиквазиземов по мнению отчасти соответствует урбаноземам в классификации городских почв разработанной М.Н. Строгановой [225, 226].

В настоящее время проблема классификации городских почв остается одной из наиболее актуальных в почвенно-экологических исследованиях урбанизированных территорий [151, 137, 150, 191, 255].

Почвы селитебных территорий юга Западной Сибири А.Л. Меньшиков [151] предлагает выделять в отдельный класс и разделять их на два подкласса: антропогенно-измененные и естественные почвы. На наш взгляд, такое относительно простое деление не отражает многообразие антропогенно-преобразованных городских почв и может ис-

пользоваться только на рекогносцировочных этапах почвенного обследования.

Т.В. Прокофьевой с соавторами [191], на основании изучения почвенного покрова г. Москвы, было предложено включить систематику городских почв в «Классификацию и диагностику почв России» [115] (КиДПР). Т.В. Прокофьевой и другими [191] предлагается городские почвы отнести к стволу синлитогенные, отделу Химически-загрязненных почв. Установление классификационного положения городских почв, в соответствии с принципами КиДПР, проводится на основе диагностических горизонтов. При их выделении учитываются морфологические признаки, химические, физические и физико-химические свойства. Авторами приведено подробное описание пяти диагностических горизонтов для городских почв: U – горизонт урбик, AU<sub>ur</sub> – гумусовый горизонт с признаками урбопедогенеза, ТСН – техногенный горизонт, РАТ – техногенный рекультивационный горизонт, RT – органический техногенный рекультивационный горизонт. Последние четыре горизонта ранее не выделялись. Кроме этого, детально описаны основные типы городских почв, ранее предложенные М.Н. Строгановой: урбаноземы, культуроземы, реплантоземы, конструктороземы, некроземы, – и дополнительно рекреаземы и урбохемоземы.

И.И. Лебедева [137] считает, что классификационные разработки Т.В. Прокофьевой [191] не имеют расхождений с принципами КиДПР, но в них имеется ряд противоречий, которые могут быть устранены в процессе совершенствования систематики почв. Основные противоречия, по мнению И.И. Лебедевой [137], заключаются в следующем: а) индексом основного горизонта городских почв предложено принять сочетание двух букв – UR, вместо уже традиционной U, б) типы культуроземов и рекреаземов имеют очень близкие свойства, поэтому в типе культуроземов может быть выделен подтип рекультивированных или урбиковых.

Для почвенного покрова г. Перми И.Е. Шестаков [255] предложил оригинальную авторскую систематику почв и ТПО. Антропогенно-преобразованные почвы города были разделены на три таксона: природные, слабо-преобразованные и антропогенно-преобразованные. Антропогенно-преобразованные почвы представлены поверхностно-преобразованными и глубоко-преобразованными. К первым отнесены урбопочвы и агроурбопочвы, ко вторым – урбаноземы и агроземы. Почвоподобные тела и грунты г. Перми объединены в группу почвоподобные тела и материалы антропогенного происхождения, к которой отнесены техноземы по систематике М.Н. Строгановой и все группы ТПО по КиДПР, за исключением квазиземов. Систематика И.Е. Шестакова [255] охватывает все почвы и почвоподобные тела, характерные для территории г. Перми, но на наш взгляд, нуждается в более подробном описании диагностических признаков выделенных таксонов.

Таким образом, на данный момент отсутствует общепринятое единообразие в номенклатуре горизонтов, почв городских территорий, систематика городских почв также требует доработки.

*Состав и свойства городских почв.* В профиле городских почв проявляются некоторые общие закономерности: отсутствуют все или некоторые естественные (природные) генетические горизонты, перемешиваются и загрязняются органическими и минеральными веществами урбиковые горизонты, в состав почв включаются бытовой и строительный мусор.

Гранулометрический состав городских почв формируется под воздействием природных и антропогенных факторов. В урбаноземах повышается степень неоднородности гранулометрического состава и имеется тенденция к его облегчению за счет антропогенного увеличения доли песчаных фракций и скелетного материала [106, 190].

Как правило, почвы города сильно переуплотнены с поверхности, из-за высокой рекреационной нагрузки и вытаптывания. Например, почвы рекреационных территорий городов Москвы, Омска, Ростова-на-Дону сформировались в разных природных условиях, но все при высокой антропогенной нагрузке. Они имеют практически одинаковую и очень высокую плотность гор. У (АУ) – до 1,4-1,5 г/см<sup>3</sup>, что не свойственно дерновым горизонтам почв природных территорий [7, 44, 188]. Исследования, выполненные П.В. Мещеряковым [155], выявили, что верхний слой почв парков г. Ревда Свердловской области имеет плотность 1,3-1,5 г/см<sup>3</sup>, пахотный слой культуроземов на огородных участках города менее плотный – 1,25-1,3 г/см<sup>3</sup>. Максимальные значения плотности характерны для верхней части профиля реплантоземов – 1,6 г/см<sup>3</sup>. На территории микрорайона Куркино в Москве вероятность повышенной плотности почв жилой застройки составляет 45%, рекреационных зон 30-40%. При развитии троп и тропинок, почва уплотняется до критических величин 1,6-1,8 г/см<sup>3</sup> [212]. Пористость уплотненных горизонтов снижается до 24-45%, что приводит к ухудшению их водно-воздушного режима [107, 189]. Уплотненные почвы замедляют миграцию почвенных растворов, что способствует накоплению подвижных форм тяжелых металлов в поверхностном слое.

Одной из причин деградации физических свойств городских почв является аккумуляция пыли в поверхностных горизонтах. Пыль способствует образованию сплошной корки на поверхности почвы и снижению водопроницаемости верхних горизонтов почв [4].

Многолетнее антропогенное воздействие на почвенный покров городов также приводит к изменению *физико-химических и химических свойств* почв [155, 171, 204, 225]. Незначительные изменения свойств происходят в почвах окраин и лесопарков крупных городов таежно-лесной зоны.

Они имеют кислую или близкую к нейтральной реакцию среды (рН 4,5-5,8), низкую емкость катионного обмена (15-19 мг-экв/ 100г), низкое содержание гумуса (1-3%) и элементов питания, то есть наследуют основные черты зональных дерново-подзолистых почв [62, 119, 155, 205, 225]. В городских районах интенсивной застройки естественные почвы претерпевают значительные изменения физико-химических и химических свойств. Так, для почвенного покрова крупных городов таежно-лесной зоны России: Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Ижевска, Кирова и других характерно смещение реакции среды почв в сторону подщелачивания (рН 7,3-8,0), увеличение емкости катионного обмена до 40-70 мг-экв/ 100г и степени насыщенности основаниями до 75-100%. Содержание гумуса в почвах скверов, парков достигает 5-17%, селитебных территорий – 3-7%. Для почв городских парков, газонов характерно повышенное и высокое содержание азота, фосфора, калия [77, 119, 122, 204, 215, 225].

В верхних горизонтах почв придорожных зон городских улиц происходит наиболее значительное увеличение рН – до 8,5 и более. Подщелачивание связано с поступлением на поверхность почвы водным и воздушным путем химических соединений, образующихся при движении транспортного потока, осаждением строительной пыли, а также поступлением солей кальция и натрия в зимний период в составе антигололедных смесей [132, 143]. Так, в верхних горизонтах почв г. Москвы наиболее высокое содержание обменного кальция (20-75 мг-экв/ 100г) наблюдается в скверах, бульварах и на селитебных участках.

Подщелачивание почв городов происходит не только в таежно-лесной зоне, но также в городах лесостепной и степной зон. По данным Г.К. Лобачевой [142], в почвах промышленной зоны г. Волгограда значение рН<sub>Н2О</sub> достигает до 8,3 единиц. Е.В. Коровина [127] установила, что в придорожных

почвах улиц г. Ульяновска с высокой интенсивностью движения величина рН варьирует от 8,9 до 9,2 единиц.

На территории селитебной части г. Перми преобладают урбаноземы и ТПО с нейтральной и слабощелочной реакцией среды. Емкость катионного обмена органоминеральных горизонтов урбаноземов очень высокая и достигает 60-85 мг-экв/100г, а у минеральных горизонтов суглинистых урбаноземов она составляет 20-49 мг-экв/100г. Содержание органического углерода в почвах селитебной части составляет 2-6%, подвижного фосфора – 30-90 мг/кг и обменного калия – 92-650 мг/кг [86, 126, 255].

Таким образом, свойства городских почв зависят в большей степени от антропогенных условий их формирования, чем от природных. Для городских почв характерны: нейтральная и слабощелочная реакция среды, повышенное содержание доступных форм элементов питания, облегченный гранулометрический состав, уплотненность [5, 86, 149, 204, 205]. Почвы городских территорий с низким содержанием гумуса, легкого гранулометрического состава, слабощелочной или нейтральной реакции среды проявляют незначительную устойчивость к загрязнению ТМ [9, 84, 130, 132, 159, 236]. Культуроземы и реплантоземы с высоким содержанием гумуса и нейтральной реакцией среды способствуют закреплению ТМ и выполняют роль барьера на пути их миграции в растительность, грунтовые и поверхностные воды [155, 205].

## **1.2 Тяжелые металлы в почвах городов: источники и эколого-геохимическая оценка их содержания**

Загрязнение ТМ, мышьяком, фосфором, серой и другими потенциально опасными химическими элементами является одним из наиболее опасных видов антропогенной деградации городских почв [77, 165, 166, 226, 263].

Атомная масса ТМ превышает 50 единиц. Мышьяк (As) металлом не является, но при эколого-геохимической оценке

почвенного покрова его часто рассматривают вместе с группой ТМ [43, 165, 230]. Содержание и состав ТМ в почвах городов зависит от генезиса, химического состава и свойств геологических пород и почв региона, а также от ряда антропогенных факторов: возраста города, его размера, количества и специфики промышленных предприятий, объема потока автотранспорта [171, 187, 205]. Природными источниками поступления ТМ являются: высвобождение ТМ из минералов в результате их выветривания, а также перемещение ТМ при миграционных и эрозионных процессах [33, 201]. Природные источники ТМ формируют местный геохимический фон. В крупных городах фоновое содержание ТМ в почвах существенно изменяется в результате антропогенной деятельности. Основными источниками техногенного поступления металлов в почвы городов являются *предприятия промышленности и транспорт* [77, 113, 180, 247, 243, 285 и др.].

*Промышленные выбросы* поступают в почвы с атмосферными осадками, пылью, аэрозолями и в виде газообразных соединений, а также поглощаются из атмосферы растениями, накапливаются в них и передаются в почву вместе с опадом. До 95% ТМ ассоциированы в атмосфере с высокодисперсными аэрозолями [237, 244].

По данным Д.А. Лисовой [138], М.Н. Дурова [85], В.С. Груздева [76], А.Н. Чащина [248], предприятиям черной металлургии принадлежит ведущая роль в загрязнении ТМ почв городов Челябинска, Тулы, Череповца, Чусового и других. Почти на всех этапах производства черных металлов образуется пыль, содержащая Fe и ТМ. Соединения ТМ в составе пылевых выбросов выпадают из воздуха и в основном накапливаются в поверхностном слое почвы. В выбросах предприятий черной металлургии преобладают ТМ второго класса опасности – Co, Ni, Cu, Sb, Cr. Из элементов первого класса опасности в почвах зоны влияния черной металлургии накапливается Zn.

Аэрогенные источники загрязнения ТМ городских почв таежно-лесной зоны подробно изучены на примере г. Томска – крупного промышленного и административного центра Западной Сибири. В почвах этого города вблизи металлообрабатывающих предприятий аккумулируются Cr, Co, Mo, W; шпалопропиточного производства – Cu; радиотехнического – Sn и Cd [89]. По данным Е.Г. Язикова [263], при сжигании углей в котлах ТЭС происходит выброс в атмосферу широкого спектра загрязняющих веществ, в том числе Pb, As, Cd, Hg, Be, Co, Cr, Mn, Ni, Sb, Ge, Sc, редкоземельных металлов. Специализация предприятий г. Томска на выпуске проводов с эмалевой, эмальволокнистой и стекловолокнистой изоляцией способствует поступлению в почвы Cu, Pb, Fe, Mn. Предприятия машиностроения с циклом металлообработки загрязняют городские почвы Fe, Cr, Mn, Ni, Hg, Co. Выбросы ОАО «Томский электроламповый завод» обогащают почвы прилегающих территорий Hg, Pb, Zn, W, Mo, Cu, Ni, Mn, Ba и другими ТМ.

В выбросах медно-никелевого производства вблизи городов Заполярный и Мончегорск преобладают Ni, Cu и Co. Высокая аккумуляционная способность этих элементов определяет очень высокий уровень загрязнения ТМ почв территории городов Кольского полуострова. Кроме того, в городских почвах региона наблюдается высокое содержание Pb, источником которого являются не только медно-никелевое производство, но и крупные тепловые станции [114].

Значительный вклад в содержание пылевидных тяжелых металлов вносит цементное производство. Так, в г. Al Ouyun (Саудовская Аравия) почвы умеренно сильно загрязнены As, Cd, Pb и Ni, сильно загрязнены Cr. Ряд ТМ в порядке убывания следующий: Fe > Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > As > Cd [268]. На территории Пермского края в г. Горнозаводске загрязнению почв ТМ также способствуют выбросы цементного производства [258].

По мере удаления от источников загрязнения ассоциация элементов загрязнителей обедняется. Повышенное содержание токсичных элементов обнаруживается на расстоянии 16-30 км от источника загрязнения, а значительное повышение содержания локализуется в пределах 0-5 км [61, 264, 268].

В атмосфере происходит перераспределение ТМ от промышленных зон в селитебную часть городов и в дальнейшем их осаждение на поверхности почв [146]. Так, О.К. Поповым [186] установлено, что вблизи г. Тулы на расстоянии 2-5 км от города содержание ТМ в почвах на 15-20% больше, чем на расстоянии 10-12 км.

Почвы города Сибай в Башкирии, расположенные в радиусе 0,5 км от обогатительной фабрики, загрязнены Cu, Zn, Cd и Pb, а уровень загрязнения почв в этой зоне относится к категории высокоопасного. В радиусе 5 км содержание Cu, Zn и Cd в почве определяет ее умеренно-опасный уровень загрязнения [96].

Исследования почв территорий вблизи крупных аэрогенных источников поллютантов в районе городов Екатеринбург, Асбест, Ревда на Среднем Урале показали, что производственной пылью, состоящей из полиметаллических сферул и частиц кварца, наиболее сильно загрязнены почвы импактных зон (1-2 км от источника), на расстоянии 20-30 км содержание сферул уменьшается более чем в 4000 раз [213].

Е.Г. Язиковым и соавторами [263] были проведены исследования пылеаэрозолей в зоне воздействия Томской ГРЭС, на которой в качестве основного топлива используется каменный уголь. Было установлено, что на расстоянии от электростанции 1300 м величина пылевой нагрузки на почвы уменьшается до четырех раз по сравнению с почвой на расстоянии 400 м от ГРЭС. Исследователи объясняют это тем, что более тяжелая фракция пылевых выбросов оседает на поверхности почвы вблизи источника загрязнения, а более лег-

кая подвержена переносу воздушными массами на большие расстояния.

Аэрозоли конденсации содержат Zn, Cu, Pb. Они образуются при сжигании топлива, мусора, при плавке металлов, обжиговых процессах и способны к воздушной миграции на большие расстояния от источника выбросов, так как имеют размеры всего 0,01-2 мкм. Аэрозоли дезинтеграции, содержащие в своем составе Mn и другие ТМ, образуются при истирании машин и конструкций и имеют размеры 2-10 мкм. Крупные частицы мигрируют на небольшие расстояния от мест образования [235].

*Транспорт* принимает значительное участие в загрязнении почв городов. Общий объем загрязняющих веществ от автотранспорта составляет от 30-40 до 80-90% всех выбросов в атмосферу городов России и мира [263]. По данным А.М. Ивлева [100], выбросы от автомобильного транспорта в России составляют около 22 млн. т в год. Объем выбросов в городах с каждым годом увеличивается за счет увеличения количества автотранспорта [30].

Источники тяжелометалльного техногенного воздействия на придорожные городские почвы разнообразны: выбросы пыли и газообразных веществ, содержащихся в отработанных газах двигателей; пылевидные выбросы, образующиеся в результате трения колес автомобиля о дорожное покрытие; химические вещества, используемые для борьбы со снегом и льдом на дорогах; выбросы нефтепродуктов в процессе строительства и эксплуатации дорог [10, 12, 97, 109].

По мнению И.Н. Пугачева [194], Е.Г. Язикова [263], основными причинами загрязнения атмосферного воздуха, а, следовательно, и почв г. Томска выбросами от автотранспорта являются: низкая пропускная способность дорожной сети; плохое качество дорожных покрытий; высокая концентрация автотранспортных предприятий, АЗС и гаражных боксов в жилой застройке; загруженность центральных дорог города

маршрутным транспортом; высокий процент неисправных автотранспортных единиц; доминирование низкосортных видов жидкого топлива. Аналогичные причины загрязнения почв придорожных территорий можно выделить и для других городов.

В топливо транспорта в виде естественных примесей входят V, Ni, Cu, Cd, а в качестве специальных добавок – Zn, Cr, Mn [265]. Отработанные газы двигателей внутреннего сгорания содержат более 200 наименований вредных веществ и соединений, в том числе ТМ. Для автотранспортных выбросов характерен дальний воздушный перенос ТМ. Загрязнение придорожных почв происходит на расстоянии до 25-200 м от дороги [10]. При износе шин, автокомпонентов в почвы городов поступают Cu, Zn и Cd, при коррозии автомобилей – Ni и Cr [281, 310].

Наибольшая доля из ТМ от воздействия на почвы автотранспорта приходится на Pb [12, 66, 215, 233, 289, 313]. Максимальная концентрация свинца выявлена в почвах на расстоянии до 100 м от дороги [210, 267, 259]. В придорожном пространстве примерно 50% выбросов Pb в виде микрочастиц сразу распределяется на прилегающей поверхности. Остальное количество в течение нескольких часов находится в воздухе в виде аэрозолей, а затем также осаждается на почву вблизи дорог. При мощности грузопотока более 6 тыс. авт./сут. концентрация Pb в почве варьирует от 49,5 мг/кг – в пятиметровой зоне и до 30,3-35,1 мг/кг – на расстоянии от 50 до 100 м от автомагистрали. С удалением от магистрали на 150-300 м содержание в почве валового Pb находится на уровне фонового (21 мг/кг) и составляет 24,3-24,7 мг/кг [145]. В условиях выровненного рельефа концентрация Pb в почвах в направлении от дороги постепенно снижается, если рельеф неровный, то в почвах депрессий концентрация Pb значительно увеличивается [289].

Повышенное содержание Рb в придорожных почвах объясняется многолетним использованием (до 2003 г) тетраэтилсвинца в качестве присадки к бензину. В почвах вдоль автомагистралей сохраняется химическое последствие выбросов автотранспорта от предыдущих лет, в виде повышенного содержания Рb.

Установлено, что содержание Рb, Cu, Ni и др. ТМ в придорожных почвах Санкт-Петербурга, Воронежа, Балашова, Ульяновска, Тюбингена (Германия) и др. в значительной степени зависит от интенсивности движения, скорости транспортного потока, метеорологических условий и других факторов [80, 127, 144, 195, 287]. Исследованиями М.В. Щелчковой [259] выявлено, что в составе пыли на 1 м<sup>2</sup> почвы, прилегающей к проезжей части улиц на территории г. Якутска, поступает 4,26 мг Рb, 5,41 мг Cu, 18,7 мг Zn, а наибольшему загрязнению подвержены почвы на расстоянии до 10 м от дорожного полотна. В пыли дорожного полотна улиц г. Санкт-Петербурга, г. Краснокамска и г. Соликамска Пермского края концентрируются Cu (31-41 мг/кг), Рb (12-22), Cd (0,4), Ni (29-72), Zn (61-249), Co (13), Cr (32-62) [109, 157].

Наибольшее загрязнение почв городов происходит вблизи крупных перекрестков, так как двигатели внутреннего сгорания производят максимальное количество выбросов при минимальных оборотах [129, 145]. В меньшей степени загрязнению от автотранспорта подвергаются почвы спальных районов, детских площадок и зон отдыха [103, 170, 234].

Высокая интенсивность транспортного потока в городе Тайбэй (Тайвань) определяет загрязнение Рb (56,8 мг/кг в среднем) поверхностных горизонтах городских почв [291]. Установлено, что в почвах г. Радуйся (Саудовской Аравии) высокие концентрации Рb, Cd, Zn, Co, Cr, Ni, Cu, V связаны с автотранспортными выбросами. Концентрация ТМ в зимний сезон была выше, чем летом [302].

Свой вклад в загрязнение почв городов ТМ вносит электротранспорт. По данным А.И. Федоровой [241], накопление меди в почвах г. Воронежа происходит в результате истирания контактных проводов трамваев, троллейбусов. Железнодорожный транспорт является умеренно-активным поставщиком ТМ [108]. Так, на территории г. Пензы около полотна железной дороги, на расстоянии 5-20 (10) м в слое почвы 0-10 см превышение ПДК достигало по содержанию Pb – 1,3-3,0, Ni – 1,7-1,8, Cd – 1,9-2,7, Mn – 1,1-1,2 раза. Вблизи автомагистрали и железной дороги, на расстоянии 50 м от полотна, количество Pb, Co, Cd превышает ПДК в 1,6-2,0 раза [254]. Наиболее активно железнодорожный транспорт поставляет в почвы Fe, Mn, Pb, Cu, в меньшей степени – Zn и Ni. Почвы наиболее загрязнены на отрезке 0-20 м от железнодорожного полотна, а при удалении от него концентрация ТМ снижается [108]. Кроме продуктов сжигания топлива в тепловозах, ТМ поступают в окружающую среду от стирающихся частей локомотивов и вагонов (Fe, Ni, Zn, Cu и др.). Концентрация ТМ в почвах зависит от давности эксплуатации дороги, наличия ограждений из бетона и зеленых насаждений, которые могут служить геохимическими барьерами в распространении поллютантов [241].

Таким образом, почвы крупных городов испытывают комплексное воздействие промышленного производства и транспорта. Загрязнение городских почв носит обычно полиэлементный характер.

Для эколого-геохимической оценки почвенного покрова городов проводят нормирование содержания ТМ относительно фона, ПДК или ОДК [207, 260].

*Фоновое содержание* тяжелого металла в почве – это такое его содержание, в сравнении с которым возможно обнаружить увеличение концентрации металла под влиянием антропогенных факторов [245]. За фоновое содержание в почвах принимают различные константы: количество эле-

мента в погребенных почвах, в датированных музейных образцах; ранее опубликованные сведения о состоянии исследуемых почв. Для установления фонового содержания ТМ используют территории, удаленные от города на 50-100 км. Фоновое содержание ТМ определяется на территории с естественными природными параметрами распределения химических элементов. Ландшафтно-геохимические условия города и фонового участка должны совпадать [78]. Достаточно надежные данные о фоновом содержании ТМ не всегда имеются, что осложняет объективную эколого-геохимическую оценку почвенного покрова [158, 249]. Использование нормативно установленных ПДК ТМ для оценки загрязнения почв, по нашему мнению, справедливо подвергается критике В.Б. Ильиным [101], Т.М. Минкиной [158], А.С. Федотовой [242], Г.Д. Гогмачадзе [63] и другими. Эти ученые считают, что единые значения ПДК не могут использоваться для нормирования почв разных почвенно-климатических зон. В ряде случаев существует несогласованность между фоновым содержанием ТМ и его ПДК [158, 249].

В отдельных государствах Европы ПДК ТМ для почв сельскохозяйственных угодий заметно отличаются. Так, для почв Швейцарии предельная концентрация Zn принята 200 мг/кг [17], для почв Польши – 300 мг/кг [274], а для почв Украины только 23 мг/кг [45]. В Дании, Германии, Англии Ni считается более опасным из ТМ, и его предельная концентрация для почв этих стран составляет всего 10, 50, 75 мг/кг, соответственно, что значительно ниже, чем для почв России [17, 269]. Предельная концентрация Pb в почвах Украины – 18 мг/кг, в почвах Западной и Центральной Европы его нормативы выше: 40 мг/кг – в Дании и Швеции, 70 мг/кг – в Германии, 85 мг/кг – в Нидерландах, 100 мг/кг – в Польше, Австрии и Франции, 300 мг/кг в Англии. Для почв стран Западной и Центральной Европы предельные концентрации содержания Cr следующие: Украина – 90 мг/кг, Дания – 50,

Германия и Польша – 100, Англия – 400 мг/кг [17, 45, 274, 269]. Для почв России ПДК для Cr не установлены. Чаще всего за предельно-допустимую концентрацию Cr принимают значение 100 мг/кг [40, 177].

Кроме этого, ПДК, используемые для оценки загрязнения ТМ, разработаны для сельскохозяйственных почв, и, по мнению О.С. Курбатовой [136], не имеют реального отношения к почвенному покрову городов. Для почв городов зарубежных стран Европейского союза величины ПДК по ТМ значительно превышают соответствующие ПДК, разработанные для почв России.

В 1995 году в России законодательным путем были введены *ОДК* для шести элементов: Cu, Ni, Pb, Zn, F, Cr. ОДК имеют по три численных значения концентрации элементов для различных почвенных условий [181], что, по мнению Г.Д. Гогмачадзе [63], также является недостаточным, учитывая большой набор ТМ, используемых в оценке загрязнения почв.

Оценка уровня химического загрязнения городских почв рядом исследователей [1, 66, 127, 185, 223, 250 и др.] проводится на основании следующих показателей: коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) [153, 206, 207]. В настоящее время при оценке загрязнения почв городов применяется и ряд новых расчетных показателей, основанных на учете суммарного содержания металлов-поллютантов относительно фоновых концентраций элементов [40, 222, 231, 240, 252].

Таким образом, в процессе эколого-геохимической оценки почвенного покрова городов используются разные методики оценки загрязнения почв ТМ.

Более подробно рассмотрим масштабы и элементную специфику загрязненности ТМ почв на примере некоторых городов *таежно-лесной зоны Русской равнины*. По данным Л.Ю. Станченко [223], в почвах г. Калининграда содержание

Pb 48-75 мг/кг, Zn – 173-190, Ni – 25-50, Cu – 49-80 и Cr – 92-150, что выше ПДК. Высокие концентрации Pb приурочены к промышленным, многоэтажным и рекреационным зонам города, Zn – селитебным многоэтажным зонам, Cr – зонам военных ведомств и пустырей.

В г. Санкт-Петербурге концентрация ряда металлов в почвах превышает фоновые значения в 2-30 раз, ОДК – 2-10 раз. Содержание приоритетных загрязнителей Cu, Pb, Zn значительно выше в верхней гумусированной части профиля почв дворовых территорий и транспортных участков, чем в садах, парках и скверах города [111]. По данным В.С. Зуева [95], в почвах парков г. Санкт-Петербурга содержание Zn варьирует в пределах 100-200 мг/кг, Ni – 12-20, Cr – 6-10. В селитебных зонах города выявлено значительное превышение ПДК по Zn (в 55 раз), по Pb и Cu (32 раза). Исследованиями И.Р. Мингуловой [157] установлено, что уровень загрязнения почв г. Санкт-Петербурга, расположенных на расстоянии 5-10 м от проезжей части, по суммарному показателю загрязнения Zс составляет 77-88 единиц и оценивается как опасный.

В Москве наибольший уровень загрязнения почв ТМ обнаружен в Центральном и Восточном административных округах, слабый уровень загрязнения территории приурочен к окраинам на севере, западе и юге города [165; 91]. По данным Н.Е. Кошелевой [131], содержание ТМ в почвах г. Москвы очень неоднородно, а наиболее активно накапливаются Cd, W, Zn, Ni, Cr, Pb. К.Н. Абросимов [1] в почвах г. Королева Московской области установил превышение ПДК для Pb (31-110 мг/кг), Zn (110-208 мг/кг), Cu (45-70 мг/кг) и As (4-17 мг/кг). Главным фактором загрязнения ТМ почв города является транспорт.

Приоритетными поллютантами в почвах г. Владимира являются Pb, Cu, Zn, Cr. Суммарный показатель загрязнения варьирует от 3,8 до 49. Полиметаллические геохимические

аномалии приурочены к центру города, территориям промышленных предприятий, автомагистралям с интенсивным движением автотранспорта [243, 250].

В почвах Нижнего Новгорода основными загрязнителями являются Zn, Pb и Cu. Наибольший уровень загрязнения имеют почвы промышленных зон, максимальное валовое содержание этих металлов выявлено в слое 0-5 см. Содержание Zn, Pb и Cu варьирует в диапазоне 10-135 ОДК и в несколько десятков и сотен раз превышает фон [77].

По данным Е.С. Соловьевой [215], в урбаноземах г. Кирова содержание Zn, Cu, Pb, по сравнению с геохимическим фоном территории, значительно выше. Содержание Pb максимально в почвах транспортных территорий и составляет 4,6 ПДК. В урбаноземах санитарно-защитных зон промышленных предприятий аккумулируются Cu (4,1 ПДК) и Zn (2,3 ПДК). В почвах г. Кирово-Чепецка Кировской области приоритетными загрязнителями являются Pb, Zn, Cd, Mn, Ni, Cu, суммарный показатель загрязнения Zс вблизи промышленных предприятий превышает 30 единиц [3].

Загрязнение ТМ почв г. Ижевска связано с их аэральным поступлением из разных источников, приоритетным загрязнителем является Zn. Наиболее загрязнены ТМ хемоземы Центральной промышленной зоны города, где содержание подвижного Zn составляет 209 мг/кг, Cu – 30 мг/кг. Урбаноземы селитебной части города менее загрязнены, содержание Cu в них 10 мг/кг, Zn – 40 мг/кг [204].

Почвы крупных городов *лесостепной и степной зон* также испытывают полиэлементное загрязнение ТМ. Кроме техногенных факторов этому способствует засушливый климат территории. Концентрации Zn и Cu в почвах урболандшафтов г. Волгограда превышают кларк, фон, ПДК, ОДК. Содержание Pb превышает кларк, фон, ПДК. Подвижность ТМ зависит от селективности ионного обмена, и описывается следующей последовательностью:  $Zn \geq Pb \geq Ni \geq Cu \geq As \geq$

$Co \geq Cd \geq Hg$  [222]. В почвах Саратова, Ростова-на-Дону приоритетными загрязнителями являются: Pb, Zn, Cd, Cu, Ni. Геохимический спектр металлополлютантов для почв г. Саратова имеет следующий вид: Cd (56,4 %), Pb (23,6 %), Zn (7,7 %), Cu (7,3 %), Ni (4,9 %). В почвах Ростова-на-Дону содержание Zn превышает фоновые концентрации в 30,9 раза, Ni – 4,1 раза, Pb – 2,7 раза, Cu – 2,4 раза [112].

В почвах г. Казани приоритетные поллютанты – Pb, Zn, Cu, Ni, Cr. В профиле урбаноземов селитебных зон города выявлено повышенное содержание ТМ в верхнем слое, вниз по профилю их концентрация резко снижается. В профиле урбаноземов центральной части города содержание ТМ не подчиняется какой-либо закономерности, максимальные концентрации Cu (284,7 мг/кг), Pb (243,9 мг/кг), Zn (96,3 мг/кг) выявлены на глубине 1,5 м. До середины 19 века в этой части г. Казани располагались кузнечные ряды, что и обусловило глубинное загрязнение почв ТМ [5, 79].

Г.Ю. Гарифуллина [51] выявила, что в почвах г. Уфы наблюдается превышение ПДК по Cr в 1,7 раза и As в 4,9 раза, но суммарный показатель загрязнения Zc составляет 12,6 единиц, и соответствует допустимой категории.

В почвах г. Челябинска содержание Cd превышает ОДК в 16,4 раза, Zn – в 6,2 раза, Ni – в 1,1 раза, концентрация Pb превышает ПДК в 2-10 раз [138; 246]. Почвы лесопарков г. Екатеринбурга загрязнены Cu (55-89 мг/кг), Zn (50-160 мг/кг), Pb (18-30 мг/кг) [92].

В научной литературе имеются многочисленные данные по оценке масштабов загрязнения ТМ почв *городов зарубежных стран*. На загрязнение почв городов Донецка и Мариуполя (Украина) большое влияние оказывает деятельность металлургических заводов, автомобильный и железнодорожный транспорт. Приоритетными загрязнителями являются Pb (2-10 ПДК), Zn (2-8), Cu (5-7), Cd (до 1,5) [45, 192]. Значитель-

ное полиэлементное тяжелометалльное загрязнение испытывают почвы г. Павлодара (Республика Казахстан) [52, 177].

Основными промышленными загрязнителями почв г. Кырджали (Болгария) с развитым металлургическим производством являются Pb (30-440 мг/кг) и Zn (95-380), которые попадают в атмосферу с выбросами промышленных предприятий [277]. Загрязненные ТМ почвы в г. Познани (Польша) сформировались вокруг промышленных предприятий и в центре города, а также вдоль автомобильных дорог. Содержание Pb в почвах города варьирует в пределах 28-280 мг/кг, Zn – 72-400, Cd – 0,8-9,0, Cu – 16-129 [285]. По данным R. Lăcătușu [295], в г. Бухаресте (Румыния) наибольшее загрязнение испытывают почвы, расположенные вдоль автомагистралей. В среднем содержание Pb здесь составляет 284 мг/кг; Cu – 199; Zn – 387. Почвы парков Бухареста не загрязнены ТМ и содержат: Pb – 20 мг/кг, Cu – 24, Ni – 27. На территории Праги (Чехия) почвы городского центра и промышленных районов наиболее загрязнены As (80-160 мг/кг), Cu (200-400), Zn (600-5000) [316].

В почвах Лондона, Шеффилда и Бредфорда (Великобритания) выявлено аномально высокое содержание Pb (до 1198 мг/кг), Cu (до 240) и Zn (до 480), что свидетельствует о крайне высокой техногенной нагрузке на почвенный покров этих городов [267, 284, 305].

По данным G. Guo [286], на территории г. Ибинь (Китай) самое высокое содержание As, Pb, Zn, Cu в почвах промышленных районов 12, 96, 189 и 80 мг/кг, соответственно, а более низкое – в почвах парков (9, 38, 86 и 37 мг/кг). Также установлено, что в почвах новых городских районов концентрация ТМ меньше, чем в почвах исторической части города, так как период их техногенного загрязнения незначительный. В почвах г. Хайдарабада (Индия) содержание ТМ варьирует в широком интервале: Zn – 26,9-882 мг/кг, Pb – 42,9-1833, Cu – 12-480, Ni – 12-132, As – 6-411 [303].

М.Д. Kaminski и сотрудники [292] установили, что в почвах Восточный Сент-Луис (штат Иллинойс, США) концентрация As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, и Zn высокая, и она мало меняется в профиле почвы вплоть до глубины 38 см. Почвы Нью-Йорка сильно загрязнены Cr (до 100 мг/кг), Cu (до 153), Zn (до 650), Pb (до 1100) [276].

Высокая локальная концентрация ТМ установлена в почвенном покрове ряда городов Пермского края: г. Соликамск, г. Кизел, г. Горназоводск, г. Чусовой, г. Губаха, г. Кудымкар, г. Нытва, г. Очер [47, 49, 248, 258].

Таким образом, в загрязнении почв урбанизированных территорий участвует широкий спектр ТМ. Негативное воздействие урбанизации на эколого-геохимическое состояние почвенного покрова городов проявляется во всех природно-климатических зонах. Вместе с тем, каждый город имеет свою техногенную геохимическую специализацию [180], и, соответственно на территории каждого города будет своя специфика тяжелометалльного загрязнения почвенного покрова. Основными источниками поступления ТМ в почвы являются выбросы промышленных предприятий и транспорта. Способы оценки уровня загрязнения городских почв ТМ является дискуссионными. Для диагностики загрязнения почв ТМ применяются различные методы. Рассмотрим диагностику загрязнения почв по величине магнитной восприимчивости (МВ).

### 1.3 Магнитная восприимчивость городских почв и ее эколого-геохимическое значение

Магнитная восприимчивость почв (МВ) – это физическая величина, характеризующая способность почв намагничиваться, находясь в магнитном поле [8, 19]. Для характеристики почв и пород чаще всего измеряют объемную ( $\chi_v$ ) и удельную ( $\chi$ ) МВ. Объемную МВ определяют в объеме массы почвы и выражают в магнитных единицах СИ. Удельную МВ вычисляют для единицы массы почвы и выражают в мг/кг<sup>-1</sup> (СИ) или см<sup>3</sup>/г (СГСМ).

В состав почвы входят вещества, обладающие различной МВ: диамагнетики, парамагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики и ферромагнетики [98, 278]. Соответственно, магнитная восприимчивость почвы ( $\chi$ ) отражает содержание и магнитную восприимчивость ферро(ферри) - ( $\chi_f$ ), антиферро - ( $\chi_a$ ), пара - ( $\chi_p$ ) и диамагнетиков ( $\chi_d$ ):

$$\chi = c_f \chi_f + c_p \chi_p + c_d \chi_d + c_a \chi_a + \quad (1)$$

Диамагнетики имеют  $\chi < 0$ , так как намагничиваются в магнитном поле противоположно внешнему магнитному полю. Величина  $\chi$  для них составляет от -0,1 до  $-0,9 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup>. К этой группе относятся ортоклаз, кальцит, кварц, гипс, галит, вода, органическое вещество, сера, медь, цинк, свинец, мышьяк. Парамагнетики имеют  $\chi > 0$  и характеризуются интервалом значений  $\chi$  от 1,1 до  $200 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup>. К ним относятся доломит, мусковит, биотит, сидерит, пирит, хлорит, кальций, магний, титан, марганец, рубидий, стронций, барий, лантан. Антиферромагнетики имеют  $\chi$  в интервале от 3 до  $430 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup> и представлены гематитом, гетитом, ильменитом, хромом. Ферримагнетики – магнетит, маггемит, титаномагнетит, пирротин, грейгит имеют  $\chi$  от 5000 до  $2000000 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup>. Ферромагнетики – железо, никель, кобальт, их магнитная восприимчивость очень высокая –  $6885000-27600000 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup> [8, 78, 192].

Следует отметить, что химические элементы в почве в свободном состоянии не накапливаются, а входят в состав органического вещества и минералов. Основной вклад в величину МВ почв вносят минералы железа.

По данным В.Ф. Бабанина [8], магнитная восприимчивость гематита ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) –  $80\text{-}260 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ , гетита ( $\alpha\text{FeOOH}$ ) –  $120\text{-}430 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ , лепидокрокита ( $\gamma\text{FeOOH}$ ) –  $163\text{-}245 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ , самая высокая МВ у магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) и маггемита ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) –  $300000\text{-}2000000 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ . Магнитоупорядоченная фракция почв в основном состоит из магнетита, маггемита, вюстита ( $\text{Fe}^{2+}\text{O}$ ), гематита [8, 90, 282, 307].

В.Ф. Бабанин [8] приводит данные о том, что в составе магнетита ТМ могут занимать более чем 1% от массы минерала, в основном это Mn, Ni, V, Cr. Магнетит имеет изометрическое кристаллическое строение и относится к типу обратной шпинели. Различают литогенный, пирогенный, биогенный, космогенный и техногенный генезис магнетита [8, 54, 279, 300 и др.]. Размеры кристаллов техногенного магнетита существенно крупнее педогенного и составляют 1-10 мкм и 50-200 нм, соответственно [8].

Тонкодисперсные аморфные гидроксиды железа способны образовывать на поверхности глинистых минералов полимолекулярные пленки. Они взаимодействуют с ионами металлов путем вытеснения ионов  $\text{H}^+$ , входящих в ОН- группы [184]. Максимальная адсорбция ТМ на (гидр)оксидах железа происходит в пределах рН от 4 до 5. Ряды сорбции ТМ на (гидр)оксидах железа имеют следующий вид:  $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Cd}$  или  $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cd}$  [26].

По данным И.О. Плехановой [184], в ряду ТМ: Pb, Cu, Cd, Zn – большее сродство к минералам железа проявляет Pb, потом Cu и Cd, а на поглощение Zn они влияют незначительно. При полиэлементном загрязнении Pb и Cu препятствуют взаимодействию Zn с почвой. Ю.Н. Водяницкий [37] приводит данные о том, что емкость почвы к Cu в два раза выше,

чем к Zn, а энергия связи Cu на 1/3 выше, чем Zn. Минералы железа занимают второе место после органического вещества в закреплении La, Ce и Nb [179].

Особенности МВ почв городов, промышленных и индустриальных ландшафтов изучены рядом ученых [36, 38, 54, 99, 117, 156, 160, 224, 253, 263, 280, 288 и др.]. Так, Е.Г. Язиковым и О.А. Миковым [262] в процессе эколого-геохимического картирования территории г. Томска было установлено, что фоновые значения МВ для территории города составляют  $0,4-0,5 \cdot 10^{-3}$  СИ. Повышенные значения МВ почв составляют  $0,5-1,5 \cdot 10^{-3}$  СИ, аномально высокие – более  $1,5 \cdot 10^{-3}$  СИ, а участки почв на территории чугунолитейного производства характеризуют максимальное загрязнение города и имеют  $МВ > 3 \cdot 10^{-3}$  СИ. Техногенная загрязненность высокомагнитных почв г. Томска, по данным Е.Г. Язикова и О.А. Микова, определяется накоплением ТМ группы железа – Co и Ni.

По данным А.А. Нульман [172], сильномагнитная фракция присутствует в зоне влияния аэрального загрязнения Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) в районе г. Ревды. МВ пыли в зоне активного загрязнения в 3,5-4,6 раза выше, чем в зоне минимального загрязнения. В зоне выбросов СУМЗ восприимчивость почв достигает высоких значений –  $800 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  [43].

В результате проведения магнитометрических исследований были составлены карты и схемы МВ почвенного покрова городов Москвы, Саратова, Казани, Чусового, Владимира, Таллина, Варшавы, Леобена, Тюбингена, Лояна, Сахаб (рис. 1, 2) [60, 196, 199, 248, 256, 272, 283, 296, 306, 309, 314].

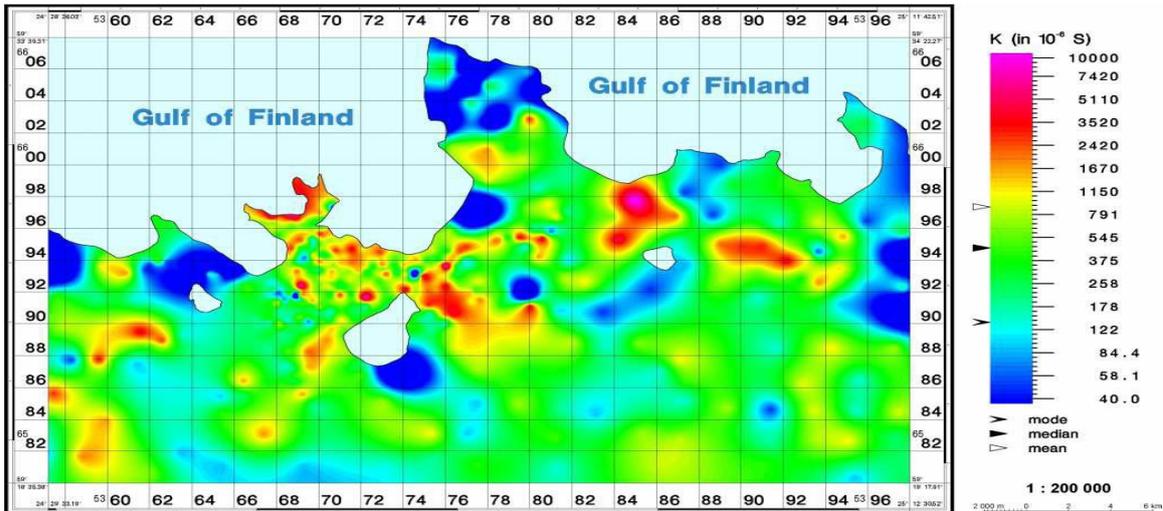


Рисунок 1 – Карта магнитной восприимчивости почв г. Таллина [272]

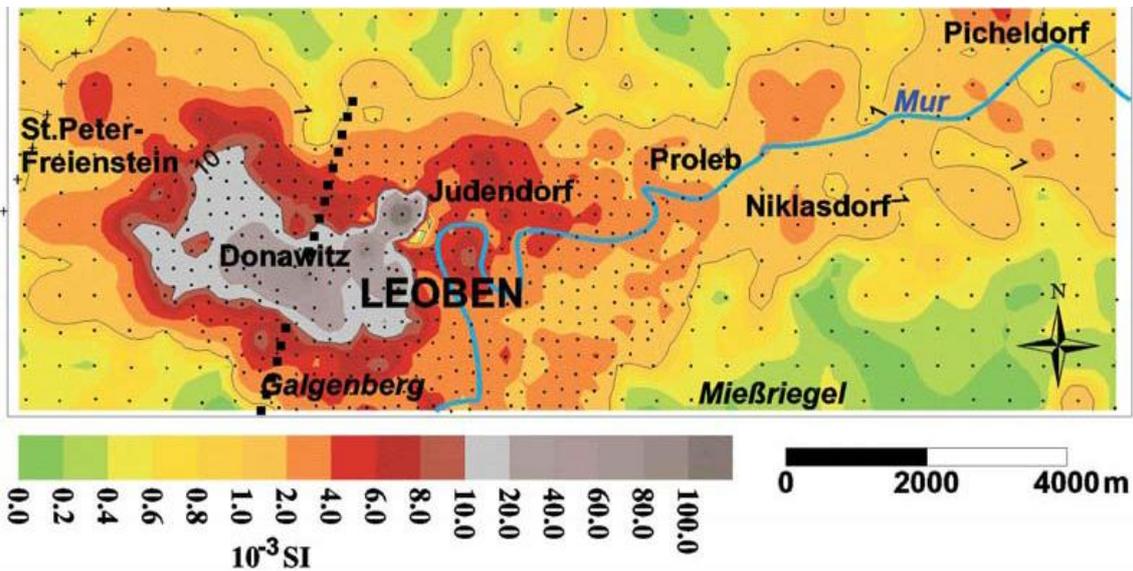


Рисунок 2 – Карта магнитной восприимчивости почв в районе г. Леобена [309]

В рамках Европейской программы MAGPROX при плотности сетки измерения МВ 10 км, составлена карта МВ почв территорий Чехии, Германии, Австрии (рис. 3) [293]. Созданный картографический материал дополняет и расширяет эколого-геохимическую оценку почвенного покрова городов, так как между величиной МВ и элементным химическим составом установлен ряд прямых сильных корреляционных зависимостей. В пределах каждого города проявляется специфика взаимосвязей МВ и концентрации ТМ.

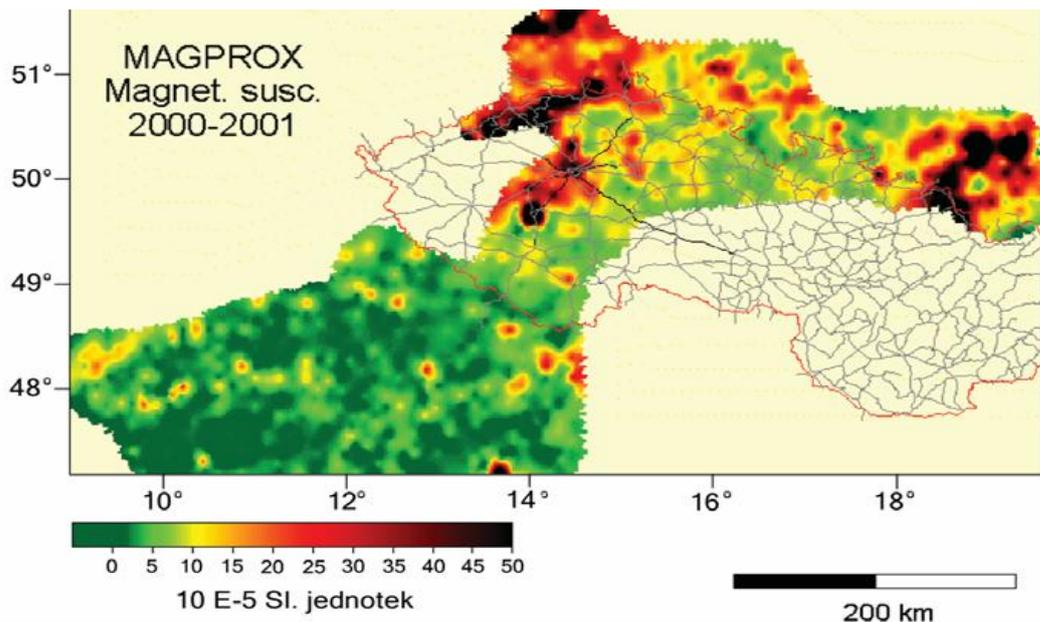


Рисунок 3 – Карта магнитной восприимчивости почв территорий Чехии, Германии, Австрии [293]

Э.А. Молостовским и В.Н. Ереминым [162] запатентован способ определения магнитных аномалий, основанный на кратности превышения фоновых значений МВ загрязненных почв. При кратности превышения фона в 1,3 раза они загрязнены ТМ. Было установлено, что на территории г. Саратова не всегда совпадают границы почвенно-магнитных аномалий и аномалий содержания ТМ. Г.Г. Матасовой с соавторами [148] установлено, что почвы вблизи Салаирского ГОК (Кемеровская область), загрязненные ТМ, характеризуются отрицательными величинами МВ. Следовательно, тяжелометалльное загрязнение почв может происходить без участия магнитной фазы. Низкотемпературные процессы переработки и обогащения сырья не сопровождаются одновременным накоплением магнитной фазы и ТМ.

Значительное влияние на содержание магнетиков в почве оказывает дорожно-транспортное загрязнение [144]. На территории Москвы и Подмосковья максимальные значения МВ ( $1,6-1,9 \cdot 10^{-3}$  СИ) наблюдается в придорожных почвах на расстоянии от полотна дороги 3-5 м. На расстоянии 20-30 м МВ снижается в 3-10 раз (до  $0,4-0,6 \cdot 10^{-3}$  СИ). Уровень МВ

зависит от интенсивности движения автотранспорта [60; 90]. Исследованиями Р. Qian [304] установлено, что крупнозернистые ферримагнитные минералы аккумулируют Pb, Zn, Cu и являются основными загрязнителями почв придорожной полосы в г. Шанхае.

В Москве максимальные значения МВ почв были выявлены на территориях, которые связаны с деятельностью предприятий металлургического производства ( $2,9-5,5 \cdot 10^{-3}$  СИ), тяжелого транспортного машиностроения ( $1,9-5,0 \cdot 10^{-3}$  СИ), ТЭЦ ( $2,4 \cdot 10^{-3}$  СИ) и крупных железнодорожных узлов ( $2,2-3,7 \cdot 10^{-3}$  СИ) (рис. 4). Фоновое значение МВ для почв г. Москвы составляет всего  $0,15 \cdot 10^{-3}$  СИ. Установлена достоверная корреляция МВ с Zn ( $r=0,96$ ), Pb ( $r=0,82$ ) и суммарной концентрацией Zn, Pb, Ni и Cu ( $r=0,85$ ) [60, 99].

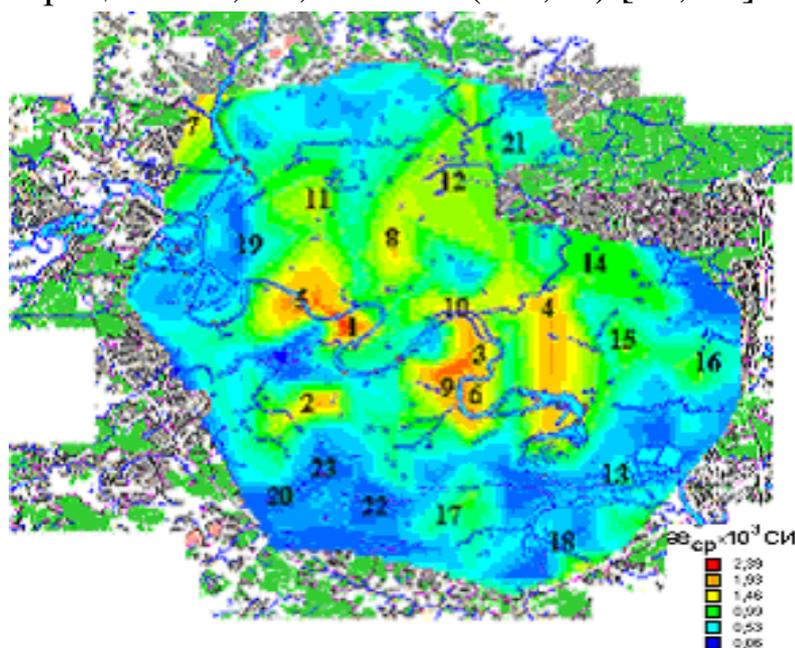


Рисунок 4 – Картосхема средних значений магнитной восприимчивости почв Москвы [60]

Исследованиями О.А. Страдиной [224] на территории парка им. Кирова в Ижевске было установлено, что самое высокое валовое содержание ТМ и концентрация их подвижных форм в почвах на расстоянии до 5 м от дорожного полотна. Величина магнитной восприимчивости в этих почвенных пробах высокая, и составляет  $3,7 \cdot 10^{-3}$  СИ. Содержание

Pb, Zn, Cu, Cr и одновременно величины МВ ( $0,4 \cdot 10^{-3}$  СИ) достоверно снижались с удаленностью от полотна дороги до 20 м.

Для почв г. Казани установлена положительная связь между МВ и суммарным содержанием в почвах ТМ, коэффициент детерминации R в уравнении регрессии высокий – 0,65. Ферримагнитная фракция почв города, по мнению Н.Н. Равиловой [196], представлена зернами ферримагнетиков природного происхождения и железистыми агрегатами (сферами) техногенного происхождения. МВ почв г. Казани изменяется от 0,1 до  $15 \cdot 10^{-3}$  СИ (рис. 5).

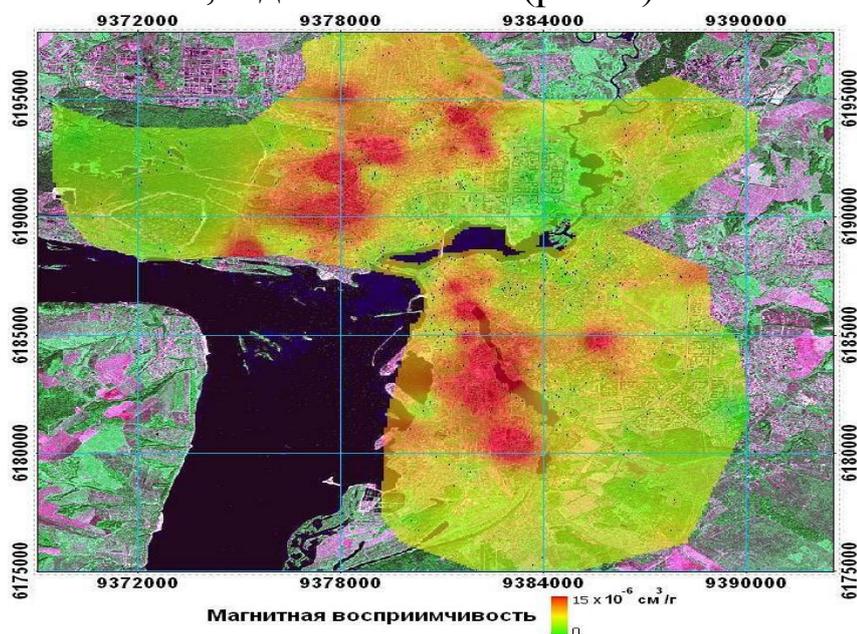


Рисунок 5 – Карта магнитной восприимчивости почв г. Казани [196]

В почвах г. Чусового максимальное накопление высокомагнитных соединений происходит на территории микрорайонов, расположенных вблизи ОАО «ЧМЗ», где МВ составляет  $4-20 \cdot 10^{-3}$  СИ. Установлена достоверная корреляция ( $r > 0,7$ ) между МВ и содержанием Ni, Cu, Zn, Cr, Mn и V [23, 248].

М.В. Решетников [199] выявил на территории г. Саратова семь ареалов почв с повышенными значениями МВ

( $\geq 1 \cdot 10^{-3}$  СИ). Фоновые значения МВ составляют от 0,08 до  $0,7 \cdot 10^{-3}$  СИ. Границы ареалов магнитных аномалий соответствуют территориям с высокой техногенной нагрузкой. Автором установлена положительная корреляционная связь МВ с содержанием Cd,  $r=0,71$ ; Cu  $r=0,66$ ; Ni  $r=0,52$ .

Почвенный покров г. Владимира, по оценке Л.А. Ширкина [256], является техногенно-слабонагруженным. Значения МВ почв на территории города значительно варьируют – от 0,05 до  $2,24 \cdot 10^{-3}$  СИ (рис. 6).

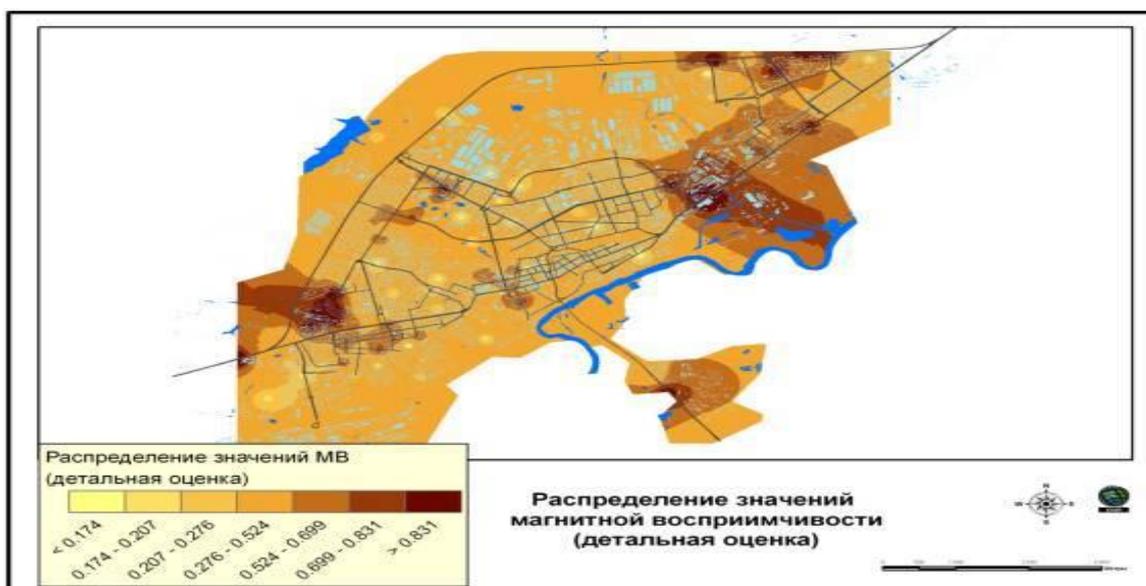


Рисунок 6 – Распределение магнитной восприимчивости в почвах г. Владимир [256]

Высокие ( $0,669-0,831 \cdot 10^{-3}$  СИ) и очень высокие ( $> 0,831 \cdot 10^{-3}$  СИ) значения МВ составляют 18% от общего количества единичных магнитных измерений. Связь концентрации ТМ с величиной МВ в почвах г. Владимира не установлена. Магнитная фракция в изученных городских почвах, по мнению Л.А. Ширкина и соавторов [256], образуется биогенным путем или наследуется от природных почв.

В почвах центральной части г. Таллина L. Vityukova [272] выявила сильную положительную корреляцию МВ и концентрации Cr, Pb, Zn и Cu. Высокая МВ почв Таллина

обусловлена выбросами металлообрабатывающих заводов на территории города. Величина МВ почв Таллина изменяется в широком интервале от 0,04 до  $10 \cdot 10^{-3}$  СИ.

В почвах Варшавы максимальные значения МВ наблюдаются в верхнем слое от 3 до 5 см. Здесь значения МВ достигают  $9,5 \cdot 10^{-3}$  СИ [299; 315]. Исследования Т. Magiera [298] показали, что значение МВ больше  $0,5 \cdot 10^{-3}$  СИ является индикатором загрязнения ТМ почв Польши. Фоновые значения МВ в лесных почвах Польши составляют  $0,25 \cdot 10^{-3}$  СИ. J. Zawadzki с соавторами [315] установили, что городская и промышленная пыль на территории Польши содержит значительное количество оксидов железа и характеризуется высокой МВ. Но коэффициенты корреляции между МВ и концентрацией Pb, Zn, Cd очень низкие – от 0,17 до 0,25. Содержание этих элементов в почвах связано с геогенными источниками. Только корреляция между концентрацией Cu и величиной МВ находится на уровне  $>0,50$ , что свидетельствует об антропогенном механизме накопления этого металла в верхнем слое почвы.

A.R. Schmidt [308] установил, что среднее значение МВ почв города Бредфорта (Англия) составляет  $176 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup>. Коэффициенты корреляции величины МВ с концентрацией Fe, Cu, Mn и Ni положительные ( $r=0,63-0,91$ ), но с концентрацией Pb коэффициент корреляции отрицательный и составляет  $r=-0,24$ .

МВ почв г. Киева возрастает вместе с уровнем их техногенного загрязнения ТМ. Коэффициенты корреляции ( $r$ ) МВ и концентрации Cu, Pb, Zn в почвах Киева составляют, соответственно, 0,65; 0,7; 0,75 [152].

Китайские ученые выполнили ряд детальных исследований в области экологического магнетизма на территории почти всех крупных городов Китая. Максимальные значения МВ ( $471 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг<sup>-1</sup>) выявлены в слое почв 0-5 см в зоне промышленного производства г. Шанхая. Установлена поло-

жительная корреляция УМВ с содержанием Zn, Cr, Mn, Cu, Pb, Cd и Fe. Коэффициенты корреляции выше в почвах промышленных районов. Основными магнитными компонентами верхнего слоя почв г. Шанхая являются зерна ферромагнитных минералов, которые поступают в почвы от промышленной деятельности и автомобильных выбросов [288; 290]. Исследованиям S.G. Lu [297] установлено, что в слое почвы 0-5 см г. Ханчжоу МВ высокая: в почвах промышленных территорий –  $600 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ , придорожных почвах –  $120 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ . Прослеживается прямая линейная корреляция между МВ и концентрациями Cr, Ni, Cu, Zn, Cd и свинца. Т. Yang с соавторами [312] выявили, что в результате передвижения транспортных средств вместе с частицами пыли в окружающую среду г. Ухань поступают Ni, Cu и Fe. Их содержание в почвах коррелирует с величиной МВ.

В почвах Ирана г. Исфахан концентрация Pb, Cu, Zn, Ba имеет положительные значимые корреляции с МВ, а содержание Sr, Cd, Mn, Cr и V не связаны с ней [294].

Таким образом, исследованиями российских и зарубежных ученых установлено, что техногенные оксиды железа имеют высокую МВ и являются носителями ТМ. Измерение МВ верхнего слоя почвы может быть использовано для быстрой оценки загрязнения почв ТМ антропогенного происхождения. Однако, из-за сложной корреляции между МВ и ТМ результаты магнитометрических измерений не всегда могут быть непосредственно связаны с загрязнением почв. Магнитометрия не может заменить геохимические исследования, так как не установлены общие цифровые значения для отношения МВ и концентрации ТМ. Все это требует проведения *комплексных* магнитометрических и геохимических исследований на *региональном* уровне.

## ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. ПЕРМИ

### 2.1 Природные условия формирования почвенного покрова г. Перми

*Географическое положение и общие сведения о г. Перми.* Пермь – крупный промышленный и административный центр, ядро Пермско-Краснокамской агломерации. Город протянулся на 70 км по берегам р. Камы и на 40 км вглубь суши. Его координаты: 58°00 с.ш., 56°19 в.д. Территория г. Перми составляет 799,68 км<sup>2</sup> [55]. В соответствии с зонированием основными структурными элементами функциональных зон г. Перми являются: территории улиц (ПД) – 18-21%; озелененные территории (ПР и СХ) – 3-10%; внутриквартальные территории (ПК) и занятые жилыми постройками – 62-77% [53].

Всего на территории семи административных районов города располагается 1300 улиц и переулков. Общая протяженность сети улиц города более 300 км. Протяженность железнодорожных путей по городу составляет более 60 км. Население г. Перми составляет около 1млн человек [182]. Особенностью планировки города является расположение крупных промышленных предприятий среди жилых кварталов, что связано с длительной историей застройки города по принципу: завод – жилые кварталы.

*Климат* территории г. Перми умеренно-континентальный, умеренно-теплый, влажный, зима сравнительно продолжительная и холодная, лето – умеренно-теплое. Среднегодовая температура +1,4-1,5 °С, средняя температура июля 17-18,5 °С, января -15-(-16) °С. Годовая сумма осадков составляет чуть более 600 мм. Снежный покров устанавливается в начале ноября, средняя высота снега 48-52 см, продолжительность снегового покрова 165-170 дней [2, 168].

Преобладающие ветра на территории г. Перми южного, юго-западного и юго-восточного направлений: 24%, 18% и 16% в году, соответственно. Перенос загрязняющих веществ от промышленных предприятий г. Перми происходит в основном с юга на север. Рассеиванию выбросов промышленных предприятий и автотранспорта препятствуют штили, застойные явления, инверсии. Иногда на территории города возникают смоговые ситуации [218].

*Рельеф* г. Перми представлен в виде широких выровненных поверхностей увалов на склонах долин и водораздельных холмов и увалов, с абсолютными отметками 150-160 м, на правобережье и левобережье реки Камы [214]. Склоны увалов и холмов изрезаны глубокими промоинами, логами, оврагами и разнообразны по крутизне: от крутых – 25-30° до очень пологих – 1-5° [81, 214]. Территория города расположена на четырех надпойменных террасах р. Камы. Основная часть жилой застройки и промышленные предприятия города расположены на третьей и четвертой надпойменных террасах левого берега р. Камы. На первой надпойменной террасе правого берега расположены микрорайоны Верхняя и Нижняя Курья, на второй находятся жилые кварталы Кировского района. Микрорайон Парковый Дзержинского района и ООПТ Черняевский лес располагаются на второй надпойменной террасе левого берега р. Камы [229].

*Геологическое строение.* Территория г. Перми расположена на восточной окраине Русской плиты Восточно-Европейской платформы в пределах восточного склона Верхне-Камской возвышенности [29]. Кристаллический фундамент сложен гнейсами, гранито-гнейсами, амфиболами и погружен на глубину 1,8-8 км. Осадочный чехол территории сложен малоизмененными осадочными породами возрастом от верхнего протерозоя до кайнозоя включительно, они представлены кварцевыми песчаниками и доломитами с прослоями щелочных ультраосновных пород. Верхнепермские отложения

представлены алевролитами, аргиллитами, конгломератами, песчаниками и мергелями мощностью 500-1000м. Четвертичные отложения представлены аллювиальными образованиями р. Камы мощностью 30-50 м. На водоразделах чехлом мощностью 0,5-0,2 м формируется элювий коренных пород [167, 211].

*Поверхностные воды.* Основная река, разделяющая город на две части – Кама. Левый берег реки выше правого и сильнее расчленен оврагами и логами, здесь протекает более 300 малых рек и ручьев [239].

*Растительность.* Город Пермь относится к Урало-Западно-Сибирской таежной провинции, Камско-Печерско-Западно-Уральской подпровинции темнохвойных лесов [198], по ботанико-географическому районированию относится к району широколиственно-елово-пихтовых лесов [176].

Пермь – достаточно озелененный город, общая площадь существующих зеленых насаждений на 2006 г. составляла 33890 га. Все существующие городские насаждения разделяются на насаждения общего пользования (парки, скверы, бульвары), специального назначения (защитные полосы), ограниченного пользования (внутриквартальные зеленые насаждения, насаждения детских и лечебных учреждений, промышленных предприятий) и озеленения улиц [216, 218].

Насаждения на улицах города составляет более 79,1 га, они однообразны как по форме, так и по видовому составу. В посадках преобладают тополь черный, клен американский, липа сердцелистная, а из кустарников – сирень обыкновенная, боярышник сибирский. Травянистая растительность газонов часто изреженная. Из бобовых трав наиболее распространен клевер ползучий; из злаковых – мятлик луговой, тимофеевка луговая, пырей ползучий, ежа сборная.

Зеленые насаждения г. Перми испытывают на себе все неблагоприятные факторы городской среды, которые приво-

дят к ослаблению и ускорению деградации зеленых насаждений. По данным Е.Г. Гоголиной [64], в золе листвы тополя содержание Pb, Cu, Zn превышает кларковые значения в 20, 30 и 20 раз, соответственно. Растения в центре города произрастают в условиях сильного аэрального загрязнения ТМ. Нами было установлено, что содержание ТМ в травянистых растениях газона по ул. Сибирской 37 превышает ПДК Pb в 7,9 раза, Cd – в 4,1, Cu – в 1,1 (рис. 7). В травянистой растительности ООПТ Липовая гора на южной окраине г. Перми концентрации ТМ не превышают ПДК.

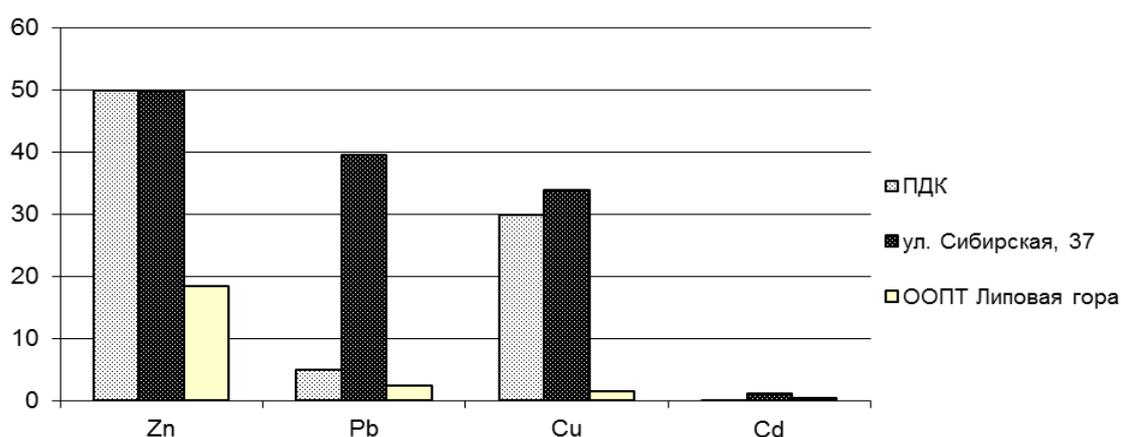


Рисунок 7 - Содержание ТМ в травянистых растениях г. Перми, 2008 г.

Примечание: определено атомно-адсорбционным методом в ФГУП ГЦАС Пермский [154]

*Почвообразующие породы и почвенный покров.* Материнские породы на территории г. Перми разнообразны по свойствам, генезису и представлены в основном покровными глинами и суглинками, аллювиальными и древнеаллювиальными отложениями. Наиболее распространенным видом почвообразующих пород на территории Перми являются **покровные глины и суглинки**, которые представляют собой достаточно однородную желтовато-бурую, коричнево-бурую, светло-бурую, в большинстве случаев некарбонатную тонкопористую массу, имеют суглинистый и глинистый гранулометрический состав. Они могут быть двух основных вариан-

тов: опесчаненные нелессовидные и лессовидные. Иногда в толще покровных суглинков встречаются прослойки супеси, легкого суглинка толщиной 1-1,5 см, единичные халцедоновые гальки диаметром 2-3 см, что связано с их древнеаллювиальным генезисом. Карбонатные новообразования в толще лессовидных суглинков и глин чаще всего инкрустационного характера – псевдомицелий, прожилки [211].

По нашим данным, в пределах четвертой надпойменной террасы покровные отложения имеют слабокислую реакцию среды  $pH_{KCl} - 5,2-5,5$ , среднюю емкость катионного обмена – 28 мг.экв/100 г, высокую обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием – 170 и 210 мг/кг, соответственно, содержание физической глины в них составляет 41-46% (табл. 1).

Таблица 1 - Гранулометрический состав почвообразующих пород г. Перми

Глубина, см	Размеры частиц, мм, содержание, %						
	1- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01
Покровные отложения, ул. Революции, 13							
150-160	0,2	18,2	40,2	3,9	9,4	28,1	41,4
Покровные отложения, ул. Островского, 69							
190-200	0,2	14,9	38,9	5,9	7,2	32,8	45,9
200-210	0,1	14,8	40,0	5,0	7,8	32,3	45,1
Аллювиальные отложения, ул. Борцов Революции, 107							
85-95	89,5	6,4	0,6	0,2	0,4	3,0	3,6

Покровные отложения Пермского края имеют трехкомпонентный минералогический состав илистой фракции: в них содержится более 30-40% лабильных, преимущественно разбухающих силикатов, а также иллит и каолинит, которые находятся в приблизительно равных количествах [128, 211].

Нами было установлено, что в покровных отложениях центра г. Перми содержание Pb, Ni, Cu, Cr, Mn превышает кларк в 1,1-1,7 раза. Это объясняется участием в формирова-

нии почвообразующих пород Предуралья продуктов выветривания отложений пермской геологической системы (табл. 2).

Таблица 2 - Тяжелые металлы и мышьяк (мг/кг), объемная магнитная восприимчивость ( $10^{-3}$  СИ) в почвообразующих породах г. Перми

Глубина, см	ОМВ	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ga	Rb	Y	Zr
Покровные отложения, г. Пермь, ул. Революции 13													
150-160	0,4	73	-	22	116	77	52	937	199	9	67	31	304
Покровные отложения, г. Пермь, ул. Островского 69													
190-200	0,5	76	-	25	96	97	62	1092	196	22	71	34	289
200-210	0,5	87	4	26	62	99	51	1030	194	17	76	33	312
Аллювиальные отложения, ул. Борцов Революции, 107													
85-95	0,1	20	4	-	55	17	20	232	234	6	29	11	132
Покровные суглинки Вятско-Камского Предуралья [120]													
100-300	-	54	-	12	66	41	26	1327	133	13	68	25	115
Кларк для земной коры, по данным А.П. Виноградова [32]													
	-	83	1,7	16	83	58	47	1000	340	19	150	20	170

- данные отсутствуют

По оценке Н.В. Москвиной [164], высокое содержание Sr в почвах многоэтажной застройки г. Перми наследуется от почвообразующей породы. Для сравнения отметим, что в покровных суглинках Вятско-Камского Предуралья в пределах Кировской области концентрация ТМ, кроме Mn, значительно ниже [120]. Величина ОМВ в покровных отложениях центра г. Перми высокая и составляет  $0,4-0,5 \cdot 10^{-3}$  СИ.

Аллювиальные отложения первой и второй надпойменной террас р. Камы имеют преимущественно легкий гранулометрический состав (табл. 1). Пески содержат повышенное количество кремния, но бедны карбонатами и другими элементами [128], имеют низкую МВ (табл. 2).

Таким образом, промывной тип водного режима, смешанные леса с хорошо развитым травянистым покровом, кислая реакция среды, тяжелый гранулометрический состав почвообразующих пород на большей части территории города способствовали проявлению дернового и подзолистого

процессов почвообразования и формированию на ретроспективно-естественных ландшафтах дерново-подзолистых почв тяжелого гранулометрического состава в левобережной части города и легких почв на правом берегу. В соответствии с почвенно-географическим районированием Пермского края территория г. Перми располагается в пределах дерново-слабо-, средне- и сильноподзолистых тяжелосуглинистых почв. Этот почвенный район относится к Вятско-Камской провинции южно-таежной подзоны дерново-подзолистых почв [46].

## **2.2 Антропогенные условия формирования почвенного покрова г. Перми**

Антропогенное воздействие изменило естественную структуру почвенного покрова г. Перми. О.З. Еремченко [86] было установлено, что в районах многоэтажной застройки г. Перми, 76% почвенного покрова заняты урбаноземами, 14% – экраноземами и 10% – реплантоземами. В районах малоэтажной застройки г. Перми, по данным О.Е. Еремченко [87] и И.Е. Шестакова [255], преобладают урбоагроземы и культуроземы. Исследования И.Е. Шестакова [255] показали, что на территории функциональных зон г. Перми целесообразно выделять урбопедокомплексы. Урбопедокомплексы – это сочетание почв и ТПО на одинаковых по гранулометрическому составу почвообразующих породах. На селитебно-транспортной территории г. Перми ведущим фактором почвообразования является антропогенный.

*Антропогенные источники загрязнения* почв на территории города можно разделить на две группы: промышленные предприятия и автотранспорт [221].

Процессы производства на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей, машиностроительной отраслей промышленности являются основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха. Крупнейшие

предприятия города – загрязнители окружающей среды: ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», объемы выбросов составляют 9,243 тыс. т.; ЗАО «Сибур-Химпром» – 5,239 тыс. т.; ОАО «Камтекс-Химпром»; Пермская ТЭЦ-9 – 2,946 тыс. т.; ОАО «Минеральные удобрения» – 2,153 тыс. т.; ООО «Мотовилихинские заводы»; ОАО «Пермские моторы»; ОАО ИНКАР ПАО; ОАО Камкабель; ФКП «Пермский пороховой завод» [220].

В атмосферу города с 2003 по 2008 гг. поступало ежегодно 130 тыс. тонн пылегазовых выбросов, в состав которых входило 457 наименований загрязняющих веществ [94]. В структуре выбросов города преобладают выбросы от автотранспорта. С увеличением количества автомашин, увеличился и выброс загрязняющих веществ. В 2005 г. выбросы от автотранспорта составляли 81 тыс. т., в 2009 г. – 90 тыс. т. Резко увеличилась доля автотранспорта в городе, на внутриквартальных территориях. Количество загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу г. Перми от промышленных предприятий, в последние годы незначительно снизилось. Так, в 2005 г. выбросы составляли 36 тыс. т., в 2009 г. – 34 тыс. т. [221].

На территории промышленных городов ТМ поступают из почв в организм человека ингаляционным, пероральным и перкутаным путем [233]. На территории г. Перми анализ загрязнения атмосферного воздуха осуществляется Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ПЦГМС). Содержание ТМ в воздухе города определяется только на двух постах – в Свердловском и Индустриальном районах. Всего учитывается в атмосферном воздухе города содержание семи ТМ: Mn, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn и Cd [218]. Концентрации пыли, Fe, Cr<sup>6+</sup>, Ni, Pb в приземном слое воздуха города иногда превышает ПДК в 1,1-3,5 раза, в отдельных случаях превышение ПДК по Pb составляло 10-11раз [217, 219].

В структуре загрязняющих веществ атмосферы города сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ) составляет 1115-2825 тонн в год или 3,8-7,8% от общего количества выбросов. Разовые превышения ПДК по сернистому ангидриду достигают 4,7-7,9 раза. Основными его источниками являются автотранспорт и ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» [219, 221].

За период с 1995-2000 г. в воздухе г. Перми наблюдался рост содержания пыли, Mn, Cu, Ni, Zn [18]. В дальнейшем, в связи с экономическим спадом, объемы выбросов в атмосферу города сократились. Сотрудниками института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН было установлено, что основная доля антропогенного загрязнения снегового покрова г. Перми приходится на тяжелые металлы: Cu, Pb, Cd, Mo, Ni, Cr и V [216]. Весной, после таяния снега, в почвах всех снежных свалок г. Перми возрастает валовое содержание Pb в 1,4-9,1 раза, Cu – в 1,3-3,3, Zn – в 1,1-3,0, Cd – в 1,1-4,9, Hg – в 1,2-5,4 раз [258]. Проблема загрязнения почв г. Перми ТМ актуальна. По данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», гигиеническая оценка безопасности почвы на территориях объектов повышенной эпидемиологической значимости в 2011 году показала, что 7,1% всех проб не соответствуют стандартным требованиям нормативов, из них 61,1% приходится на почвы, загрязненные ТМ [174]. В период с 2000 по 2006 гг. количество нестандартных проб было еще выше – 26%. По данным Е.А. Ворончихиной [47, 49, 50], М.В. Москвиной [164], И.С. Копылова [124, 125], основные загрязнители почв г. Перми Pb, Zn, Cu, Sn, Ni, Cr, Mn, Ga.

Техногенное загрязнение почвенного покрова городов восточной окраины Русской равнины, в том числе и г. Перми-происходит на фоне повышенного природного содержания **ФМ** [14, 16, 93, 118, 161, 173, 175] и ряда **ТМ** [123, 135, 164, 257] в отложениях пермской геологической системы и почвообразующих породах региона. Однако геогенные факторы не всегда в полной мере учитываются при анализе магнитных

свойств и химического состава городских почв Предуралья [43].

В структуре почвенного покрова Пермского Предуралья выделяется 15 крупных геохимических аномалий [255]. Территория г. Перми находится в пределах Среднекамской геохимической природно-техногенной аномальной зоны [123].

Таким образом, геогенные условия восточной окраины Русской равнины и высокая техногенная нагрузка способствуют природно-техногенному загрязнению ТМ почвенного покрова г. Перми. На территории г. Перми мониторинг содержания ТМ в городской среде проводится в ограниченном масштабе. Качество атмосферного воздуха изучают ежедневно, но только на двух наблюдательных постах. За содержанием ТМ в почвах города, кроме зон рекреации, детских учреждений, лечебно-профилактических учреждений, детских площадок жилых домов, постоянного контроля нет. Поиск методов осуществления оперативного контроля за состоянием химического состава почв является актуальной проблемой мониторинга почвенного покрова г. Перми [86, 124]. Одним из эффективных методов может быть магнитометрия.

### **ГЛАВА 3. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ФЕРРИМАГНИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ Г. ПЕРМИ**

Нами было изучено состояние почвенного покрова в основных функциональных зонах г. Перми. На территории структурных элементов функциональных зон города: бульвары и скверы «ПР», внутриквартальные территории «ПК», придорожные территории «ПД» и земли сельскохозяйственного значения «СХ» [53] для изучения морфогенетических признаков и отбора образцов для проведения аналитических исследований было заложено 10 разрезов, 20 полуям, 90 прикопок (рис. 8).

Полнопрофильные разрезы имели следующие привязки. Разрез 1: урбо-дерново-подзолистая почва. Газон по ул. 25 Октября, 47; координаты: широта  $N 58^{\circ}00'18.99''$  долгота  $E 56^{\circ}15'28.87''$ , высота над уровнем моря 157 м. Разрез 2: урбо-дерново-подзолистая почва в сквере «Чкаловский»; координаты:  $N 57^{\circ}59'04.41''$   $E 56^{\circ}15'25.71''$ , 170 м. Разрез 3: агрозем на огородном участке по ул. Борцов революции, 107; координаты:  $N 58^{\circ}01'37.66''$   $E 58^{\circ}11'59.53''$ , 97 м. Разрез 4: урбанозем на газоне по ул. Шоссе Космонавтов, 108; координаты:  $N 57^{\circ}59'34.11''$   $E 56^{\circ}12'08.53''$ , 129 м. Разрез 5: урбанозем на внутриквартальной территории по ул. Советская, 13; координаты:  $N 58^{\circ}01'05.70''$   $E 56^{\circ}15'05.58''$ , 118 м. Разрез 6: урбанозем на газоне по ул. Куйбышева, 147; координаты:  $N 57^{\circ}57'54.97''$   $E 56^{\circ}14'42.55''$ , 171 м. Разрез 7: урбанозем ул. Пермская, 7а;  $N 58^{\circ}00'58.65''$   $E 56^{\circ}15'37.16''$ , 131 м. Разрез 8: серогумусовая почва, лес ООПТ Липовая гора, южная окраина г. Перми; координаты:  $N 57^{\circ}56'57.00''$   $E 56^{\circ}17'15.19''$ , 194 м. Разрез 9: дерново-слабоподзолистая почва, залежь на условно фоновой территории в пределах южной окраины г. Перми, м-р Баха-

ревка; координаты: N 57°56'57.59" E 56°14'08.79", 165 м. Разрез 10: дерново-мелкоподзолистая почва, лес на условно фоновой территории в пределах южной окраины г. Перми, м-р Бахаревка; координаты: N 57°94'93.71" E 56°23'90.81", 170 м.

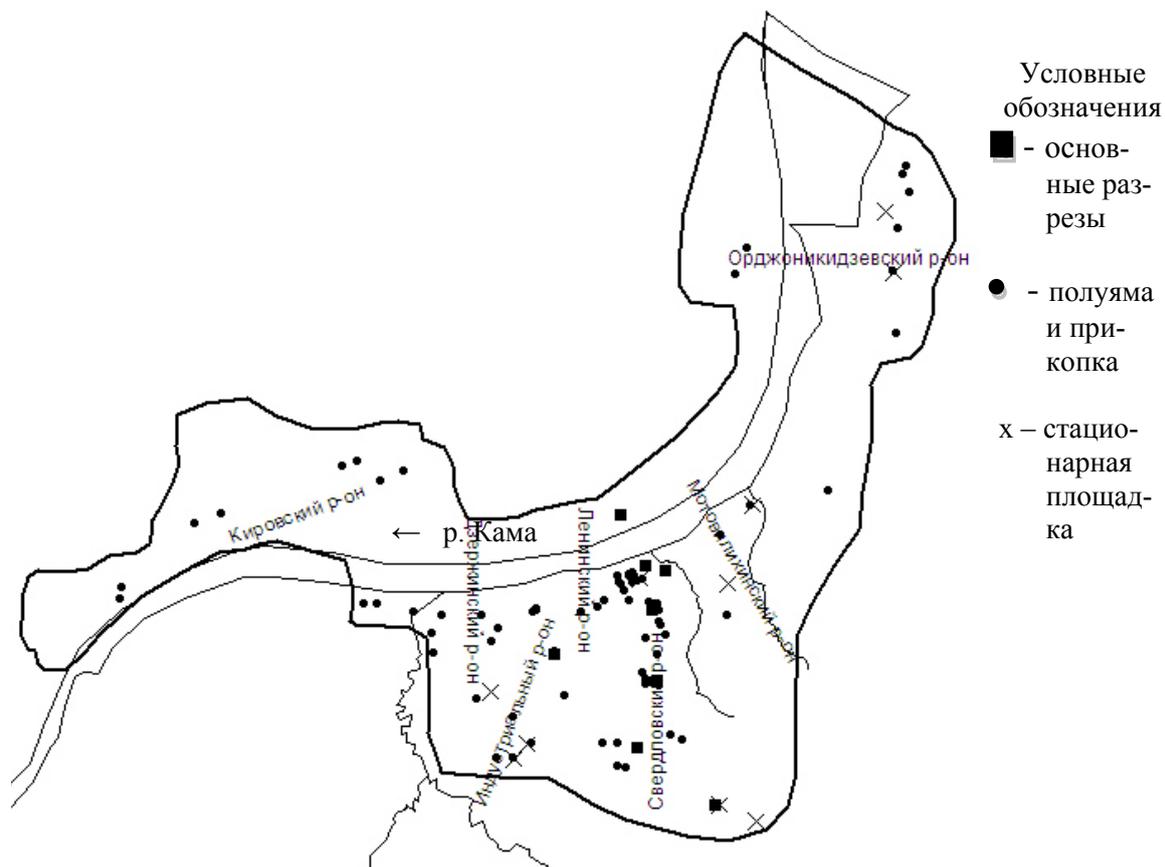


Рисунок 8 – Схема мест закладки разрезов и размещение стационарных площадок для изучения динамики ОМВ на территории г. Перми

Закладка разрезов, их морфологическое описание и отбор почвенных образцов проводились в соответствии с рекомендациями по полевой диагностике почв [115, 202, 225].

### 3.1 Морфогенетическая характеристика основных типов почв

По морфогенетическим признакам были выделены четыре группы почв с разной степенью антропогенного вмешательства: а) без нарушений в строении профиля (раз. 8, 9); б)

незначительные нарушения естественного строения профиля (разр. 2, 3, 10); в) существенные нарушения в строении профиля (разр. 1); г) почвы на культурном слое и на насыпных грунтах (разр. 4, 5, 6, 7). Приведем морфологическое описание разрезов.

**Разрез 1.** Урбо-дерново-подзолистая супесчаная на покровном суглинке. Разрез заложен на пересечении улиц 25 Октября и Ямская, газон шириной 1,3 м. Средняя высота травостоя 20 см, степень проективного покрытия 50%, основные виды: мятлик луговой, мать-и-мачеха, подорожник большой. Глубина разреза 155 см (рис. 9).

U<sub>1</sub>, 0-14 см. Свежий, темно-серый, супесчаный, комковатый, рыхлый, мало корней диаметром 1-2 мм, щебень диаметром 2-4 см равномерно по всей толще горизонта, щебень вскипает от HCl, переход ясный по окраске и плотности.

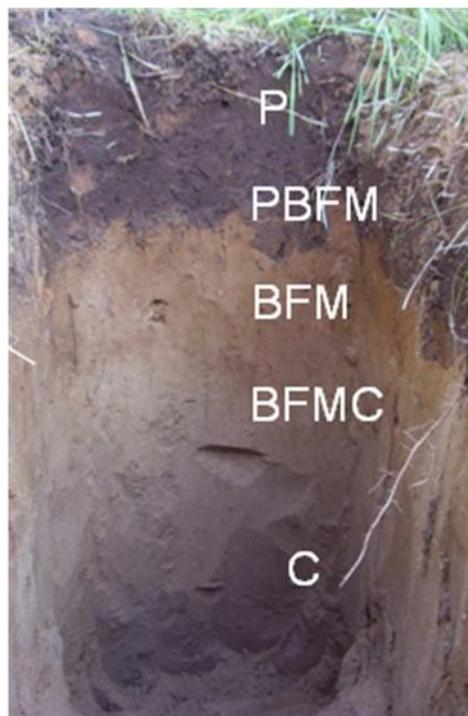
A<sub>Yur</sub>, 14-29 см. Влажноватый, светло-серый, песчаный, мелкокомковато-пылеватый, уплотненный, редкие корни, единично щебень диаметром 2-4 см, переход ясный по окраске и структуре.

B<sub>T1</sub>, 29-82 см. Влажный, бурый, среднесуглинистый, ореховатый, плотный, переход постепенный.

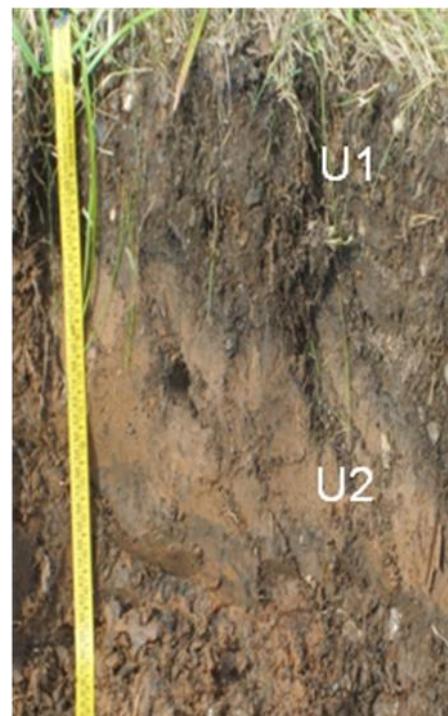
B<sub>T2</sub>, 82-155 см. Влажный, бурый, среднесуглинистый, ореховатый, плотный.



Урбо-дерново-  
подзолистая,  
Сквер «Чкаловский»



Агрозем, Борцов Рево-  
люции, 107



Урбанозем,  
Ш. Космонавтов, 147



Урбанозем,  
Ул. Пермская, 7а

Рисунок 9 – Морфогенетические профили почв г. Перми

**Разрез № 2.** Урбо-дерново-подзолистая среднесуглинистая на покровном суглинке. Разрез заложен в сквере «Чкаловский», в 25 м от проезжей части ул. Героев Хасана и 50 м ул. Чкалова. Древесная растительность: тополь бальзамический возраст 40-50 лет, высота 12 м, клен ясенелистный возраст 15-20 лет, высота 8 м, липа мелколистная возраст 40-50 лет, высота 10 м, береза пушистая возраст 10-15 лет, высота 6 м. Средняя высота травостоя 40 см, степень проективного покрытия 60-70%, доминирующие виды: мятлик луговой, тимофеевка луговая, мать-и-мачеха, крапива двудомная, подорожник большой. Глубина разреза 162 см.

AУг, 0-24 см. Влажноватый, серый, среднесуглинистый, комковатый, уплотненный, много корней травянистых растений диаметром 1-5 мм, равномерно по всему горизонту щебень диаметром 2-3 см, осколки стекла, пластика, переход в нижележащий горизонт заметный по окраске.

AУгEL, 24-35 см. Влажный, светло-серый, среднесуглинистый, комковатый, плотный, много корней диаметром 1-3 мм, редко включения щебня диаметром 2-3 см, переход заметный по окраске и плотности.

EL, 35-43 см. Влажный, светло-серый, песчаный, комковато-пылеватый, уплотненный, мало корней, переход постепенный по окраске и структуре.

BEЛ, 43-53 см. Влажный, светло-серый с бурыми пятнами, среднесуглинистый, комковато-ореховатый, плотный, редкие корни, переход постепенный по окраске.

BT<sub>1</sub>, 53-94 см. Влажный, буровато-коричневый, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, единичные корни, переход постепенный по плотности.

BT<sub>2</sub>, 94-128 см. Влажный, буровато-коричневый, тяжелосуглинистый, ореховатый, очень плотный, переход постепенный по плотности.

BT<sub>2</sub>C, 128-145 см. Влажный, буровато-коричневый, тяжело-суглинистый, крупноореховатый, плотный, переход постепенный по плотности и структуре.

C, 145-162 см. Влажный, буровато-коричневый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, уплотненный.

**Разрез № 3.** Агрозем железисто-метаморфический супесчаный на современном аллювии высокой поймы р. Кама. Разрез заложен на огородном участке в зоне малоэтажной застройки на правом берегу р. Кама по ул. Борцов Революции, 107. Кустарниковая растительность – малина садовая. Травянистая растительность: пырей ползучий, тимофеевка луговая, метлица полевая, марь белая, нивяник обыкновенный. Средняя высота травостоя 50 см, степень проективного покрытия 70-80%. Глубина разреза 150 см.

P, 0-30 см. Свежий, темно-серый, супесчаный, мелкокомковатый, рыхлый, густые корни по всей толще горизонта диаметром 2-4 мм, редко галька диаметром 0,3-0,5 мм, переход заметный по окраске и структуре.

PBFM, 30-40 см. Свежий, неоднородной окраски - от темно-серой до ржаво-бурой, песчаный, бесструктурный, уплотненный, много тонких корней, переход в другой горизонт постепенный по изменению окраски.

BFM, 41-57 см. Влажноватый, ржаво-бурый, песчаный, бесструктурный, уплотненный, гумусовые затеки, мало корней, переход постепенный по окраске.

BFMC, 57-77 см. Влажный, неравномерной окраски: от ржаво-бурого до светло-серого, песчаный, бесструктурный, плотный, единичные затеки гумуса, редкие корни, переход постепенный по окраске.

C, 77-150 см. Влажный, светло-серый, песчаный, бесструктурный, плотный.

**Разрез № 4.** Урбанозем маломощный песчаный. Разрез заложен по ул. шоссе Космонавтов, 108 в 30 м от проезжей части. Древесная растительность – клен американский, воз-

раст 10-15 лет, высота 3 м. Состав травянистой растительности: лопух обыкновенный, подорожник большой, овсяница луговая, мать-и-мачеха. Средняя высота травостоя 25-30 см, площадь проективного покрытия 50-60%. Глубина разреза 100 см.

U<sub>1</sub>, 0-29 см. Сухой, светло-серый, песчаный, бесструктурный, уплотненный, много корней деревьев по всей толще горизонта диаметром 0,5-1 см, включения гальки диаметром 1-3 см, обломки стекла, пластмассы, переход ясный по окраске и плотности.

U<sub>2</sub>, 29-42 см. Сухой, неоднородной окраски - от темно-серой до черной, легкосуглинистый, комковатый, рыхлый, много корней, прослойки торфа, галька диаметром 1-3 см, переход ясный по окраске и плотности.

U<sub>3</sub>, 42-67 см. Свежий, буро-рыжий, супесчаный, бесструктурный, плотный, единичные корни, переход заметный по окраске.

U<sub>4</sub>, 67-84 см. Влажный, светло-серый, песчаный, бесструктурный, очень плотный, единичные корни, включения щебня диаметром 3-5 см, гальки диаметром 0,5-2 см, переход заметный по окраске и плотности.

U<sub>5</sub>, 84-100 см. Влажный, коричнево-бурый, песчаный, бесструктурный, плотный.

**Разрез №5.** Урбанозем мощный супесчаный на культурном слое. Разрез заложен в ядре городского центра по ул. Советская 13, на внутриквартальной территории. Глубина разреза 270 см.

U<sub>1</sub>, 0-70 см. Свежий, темно-серый, плотный, скелетный материал составляет 60-70% от объема и представлен строительным и бытовым мусором, переход ясный.

U<sub>2</sub>, 70-100 см. Свежий, серый, супесчаный, мелкокомковатый, уплотненный, единичные очень тонкие корни, обломки кирпича диаметром 3-5 см, равномерно бытовой мусор. Переход ясный по окраске и плотности.

U<sub>3</sub>, 100-150 см. Свежий, темно-серый, супесчаный, комковатый, плотный, единичные корни, обломки красного кирпича диаметром 2-3 см, переход постепенный по структуре.

U<sub>4</sub>, 150-230 см. Влажноватый, темно-серый, супесчаный, комковато-глыбистый, плотный, включения обломков красного кирпича диаметром 2-3 см, переход постепенный.

D, 230-270 см. Влажный, зеленовато-серый, песчаный, бесструктурный, плотный.

**Разрез №6.** Урбанозем мелкий среднесуглинистый на техногенных отложениях. Разрез заложен на газоне по ул. Куйбышева 147, в 70 м от проезжей части улицы. Растительность: мятлик обыкновенный, осока ранняя. Средняя высота травостоя 50 см, проективное покрытие 60%. Глубина разреза 42 см.

U<sub>1</sub>, 0-12 см. Свежий, серый, среднесуглинистый, мелкокомковатый, плотный, много тонких травянистых корней, равномерно по всему горизонту галька диаметром 2-3 мм и щебень 4-5 см, бурно вскипает от HCl, переход ясный по окраске и структуре.

U<sub>2</sub> 12-35 см. Влажный, буровато-коричневый, глинистый, крупноореховатый, плотный, мало корней, щебень диаметром 4-5 см, обломки красного кирпича диаметром 2-4 см, бурно вскипает от HCl, переход постепенный по плотности.

U<sub>3</sub> 35 и более см. Влажный, буровато-коричневый, глинистый, очень плотный, обильные включения щебня диаметром 4-6 см равномерно по всему горизонту, бурно вскипает от HCl.

**Разрез №7.** Урбанозем среднемошный супесчаный на культурном слое. Разрез заложен в ядре городского центра на газоне по ул. Пермская 7а, на расстоянии 30 м от проезжей части. Растительность травянистая: овсяница луговая, клевер белый, одуванчик лекарственный, лапчатка серебристая, подорожник большой, ромашка лекарственная. Средняя высота

травостоя 15-20 см, проективное покрытие 70%. Глубина разреза 70 см.

U<sub>1</sub>, 0-10 см. Свежий, серый, супесчаный, мелкокомковатый, уплотненный, много тонких корней во всей толще горизонта, галька диаметром 1-3 см и щебень диаметром 4-5 см, вскипает от HCl, переход ясный по окраске.

U<sub>2</sub>, 10-23 см. Свежий, темно-серый, супесчаный, мелкокомковатый, уплотненный, редкие корни, включения гальки диаметром 1-3 см, обломков стекла и красного кирпича диаметром 2-3 см, переход ясный по окраске и структуре.

U<sub>3</sub>, 23-42 см. Влажный, светло-серый, песчаный, бесструктурный, плотный, единичные корни, щебень диаметром 4-5 см и обломки красного кирпича диаметром до 2-3 см, слабо вскипает от HCl, переход ясный по окраске.

U<sub>4</sub>, 42-58 см. Влажный, серый с буроватыми пятнами, песчаный, бесструктурный, плотный, единичные корни, редко щебень диаметром 1-5 см, переход постепенный по окраске.

U<sub>5</sub>, 58-70 см. Влажный, светло-серый, песчаный, бесструктурный, плотный, единичные корни, включения щебня и обломков красного кирпича.

**Разрез № 8.** Серогумусовая тяжелосуглинистая почва на элювии пермской глины, подстилаемая элювием песчаников. Разрез заложен в верхней части склона на южной окраине г. Перми ООПТ Липовая гора в 600 м на запад от д. Соболи, рекреационная зона. Древесная растительность: ольха, ель, средняя высота 10-15 м. Травянистая растительность представлена злаково-разнотравной ассоциацией: мятлик луговой, кострец безостый, герань лесная, манжетка обыкновенная, земляника лесная. Средняя высота травостоя 25-30 см, проективное покрытие 65-70%. Глубина разреза 128 см.

AУ<sub>0</sub>, 0-2 см. Лесная подстилка.

AУ, 2-15 см. Свежий, серый с красноватым оттенком, среднесуглинистый, комковато-зернистый, уплотнен, много тон-

ких корней, редко галька диаметром 0,2-0,3 см, переход постепенный по окраске и структуре.

АУВМ, 15-22 см. Влажный, красновато-бурый, среднесуглинистый, комковатый, плотный, редкие корни, редко галька диаметром 0,2-0,3 см, переход ясный по окраске.

ВМ<sub>1</sub>, 22-52 см. Влажный, красно-бурый, тяжелосуглинистый, комковато-ореховатый, плотный, единично тонкие корни, переход постепенный по структуре.

ВМ<sub>2</sub>, 52-85 см. Влажный, красно-бурый, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, переход постепенный по окраске.

ВМСД, 85-107 см. Влажный, красновато-коричневый с редкими зелеными пятнами песка диаметром 2-4 см, легкосуглинистый, мелкокомковато-ореховатый, плотный, переход резкий по изменению окраски и гранулометрическому составу.

Д, 107-128 см. Влажный, зеленовато-серый с бурым оттенком, песчаный, плитчатый, плотный.

**Разрез 9.** Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая постагрогенная, глубокопахотная на покровном суглинке почва. Залежь на условно фоновой территории в пределах южной окраины г. Перми, макрорельеф холмисто-увалистый, мезорельеф выравненный водораздел рек Мулянка и Данилиха. Растительность разнотравно-злаковая: вейник остроцветковый, ежа сборная, мятлик луговой, хвощ полевой, одуванчик лекарственный, пижма обыкновенная, лапчатка гусиная, манжетка обыкновенная, пастернак посевной, березы, кустарники липы, единично ива. Проективная поверхность 100 %. Глубина разреза 167 см.

АУ, 0-42 см. Свежий, темно-серый, среднесуглинистый, плитчато-ореховатый, плотный, в слое 0-8 см густо переплетен тонкими корнями 1-1,5 мм, на глубине 7-42 см корни встречаются реже, новообразования в виде охристо-ржавых пятен, переход ясный по окраске и структуре.

BE<sub>L</sub>, 42-53 см. Свежий, светло-бурый, тяжелосуглинистый, плитчато-ореховатый, плотный, редко встречаются корни, переход постепенный.

BT<sub>1</sub>, 53-82 см. Влажный, светло-бурый, тяжелосуглинистый, среднеореховатый, плотный, встречаются единичные корни, переход неясный.

BT<sub>2</sub>, 82-116 см. Влажный, светло-бурый, тяжелосуглинистый, плитчато-ореховатый, плотный, переход постепенный.

BT<sub>2</sub>C, 116-143 см. Влажный, светло-бурый, тяжелосуглинистый, комковато-глыбистый, переход в гор. С незаметный.

C, 143 -167 см. Влажный, бурый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, единично корни.

**Разрез 10.** Дерново - мелкоподзолистая слабодерновая тяжелосуглинистая почва на покровных глинах и суглинках. Разрез заложен в смешанном лесу на условно фоновой территории в пределах южной окраины г. Перми. Древесная растительность: липа, сосна, осина, рябина, средняя высота 10-15 м. Травянистая растительность: подорожник большой, одуванчик лекарственный, ежа сборная, крапива двудомная, хвощ полевой, земляника лесная, папоротник мужской. Средняя высота травостоя 30-40 см, проективное покрытие 70%. Глубина разреза 165 см.

A<sub>0</sub>, 0 - 1 см. Лесная подстилка, переплетение корней.

A<sub>У</sub>, 2-11 см. Свежий, темно-серый, тяжелосуглинистый, зернисто-комковато-пылеватый, уплотненный, много корней деревьев по всей толще горизонта диаметром 0,5-1 см, переход ясный по окраске.

E<sub>L</sub>, 11-16 см. Свежий, белесовато-светло-серый, легкосуглинистый, тонко-плитчатый с чешуйчатостью, плотный, редко корни, переход ясный по окраске.

BE<sub>L</sub>, 16-25 см. Свежий, буровато-белесый, тяжелосуглинистый, мелко-ореховато-плитчатый, плотный, переход постепенный.

BT<sub>1</sub>, 25-53 см. Влажный, коричнево-бурый, тяжелосуглинистый, мелкоореховатый, редко тонкие корни, плотный, переход постепенный по структуре.

BT<sub>2</sub>, 53-87 см. Влажный, бурый, тяжелосуглинистый, крупноореховатый, редко корни, переход постепенный.

BT<sub>2C</sub>, 87-134 см. Влажный, светло-бурый, тяжелосуглинистый, крупно-ореховато-глыбистый, плотный, редко тонкие корни, переход незаметный.

C, 134-165 см. Влажный, бурый, тяжелосуглинистый, глыбистый.

Серогумусовая почва и агрозем подвержены меньшим изменениям в строении профиля. В урбо-дерново-подзолистой почве наблюдаются изменения в естественном строении только в верхней части профиля (до 30 см), где сформировались горизонты «урбик», а нижняя часть профиля сохраняет морфологические признаки зональных дерново-подзолистых почв. Профили урбаноземов состоят из нескольких горизонтов «урбик» разного гранулометрического состава, структуры, плотности, с многочисленными включениями гальки, щебня, строительного мусора и прослойками торфа. Вовлечение в почвообразовательный процесс большого количества включений, часто вскипающих от HCl, изменяет реакцию почвенного раствора, внесение торфа увеличивает поглотительную способность почвы и снижает подвижность ТМ.

### **3.2 Физические свойства почв**

*Гранулометрический состав* почв выполнен пипеточным методом с пирофосфатом натрия [67]. Математическая обработка результатов исследований выполнена общепринятыми методами статистики с использованием прикладных программ Microsoft Excel и Statistica 8,0 [82].

В урбо-дерново-подзолистых почва, вскрытых разрезами 1 и 2 на улице 25 Октября и в сквере «Чкаловский», со-

храняется характерный для зональных дерново-подзолистых почв Пермского края [128] элювиально-иллювиальный тип распределения тонких фракций элементарных почвенных частиц. Так, в гор. EL разреза 2 содержание ила составляет всего 6%, а в гор. BT его количество достигает 43-51% (табл. 3).

Таблица 3 - Гранулометрический состав почв г. Перми

Горизонт, глубина отбора образца, см	Размеры частиц, мм, содержание, %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Разрез 1. Урбо-дерново-подзолистая, ул. 25 Октября, 47							
U <sub>1</sub> 0-14	26,3	34,3	18,8	5,0	4,6	0,6	10,2
A <sub>Yur</sub> 16-26	68,4	13,7	7,3	0,9	3,8	1,9	6,6
BT <sub>1</sub> 60-70	4,6	20,4	35,1	5,2	10,2	20,9	36,3
BT <sub>2</sub> 90-100	3,5	25,9	31,0	4,5	8,3	22,4	35,2
BT <sub>2</sub> 140-150	0,5	17,4	39,7	6,6	8,5	23,3	38,4
Разрез 2. Урбо-дерново-подзолистая (сквер «Чкаловский»)							
A <sub>Yur</sub> 0-24	7,4	17,2	38,9	9,7	12,9	13,8	36,5
A <sub>Yur</sub> EL 24-35	3,6	16,6	42,4	9,5	9,7	18,2	37,5
EL 35-43	1,9	19,1	70,5	1,5	1,2	6,0	8,6
BEL 43-53	0,9	18,3	43,4	8,9	12,5	16,0	37,4
BT <sub>1</sub> 65-75	0,2	9,4	41,8	10,8	4,5	33,4	48,7
BT <sub>2</sub> 100-110	0,1	8,8	40,4	7,0	9,1	34,7	50,7
BT <sub>2</sub> C 130-140	0,1	7,3	43,6	7,6	6,6	34,8	49,0
C 148-158	0,1	3,3	47,0	6,8	7,5	34,7	49,0
Разрез 3. Агрозем, ул. Борцов Революции, 107							
P 0-30	57,7	16,9	13,1	2,8	2,2	7,3	12,3
PBFM 30-40	81,8	7,8	4,3	0,9	0,6	4,7	6,2
BFM 45-55	88,6	4,0	2,1	1,3	0,9	3,4	5,6
BFM C 60-70	89,9	3,8	1,7	0,6	1,4	2,7	4,4
C 85-95	89,5	6,4	0,6	0,2	0,4	3,0	3,6
Разрез 4. Урбанозем маломощный, ул. Шоссе Космонавтов, 108							
U <sub>1</sub> 0-5	47,3	36,0	7,2	1,1	4,1	4,3	9,5
U <sub>1</sub> 5-20	50,9	32,3	8,5	2,1	2,2	4,0	8,3
U <sub>2</sub> 30-40	21,4	32,5	25,2	6,6	9,2	5,2	21
U <sub>3</sub> 50-60	22,1	62,9	5,0	1,2	2,7	6,2	10,1
U <sub>4</sub> 70-80	30,8	53,4	6,3	2,0	3,3	4,5	9,8
U <sub>5</sub> 85-95	20,1	63,9	6,2	2,5	2,9	4,5	9,9

## Окончание таблицы 3

Горизонт, глубина отбора образца, см	Размеры частиц, мм, содержание, %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Разрез 5. Урбанозем мощный, ул. Советская, 13							
U <sub>2</sub> 80-90	43,0	29,0	12,0	3,7	3,1	9,2	16,0
U <sub>3</sub> 130-140	34,2	35,6	14,1	3,5	4,1	8,5	16,1
U <sub>4</sub> 190-200	28,2	41,1	16,6	4,7	1,3	8,2	14,2
D 240-250	38,3	48,6	3,4	1,5	1,2	7,1	9,8
Разрез 6. Урбанозем мелкий, ул. Куйбышева, 147							
U <sub>1</sub> 0-12	67,1	8,3	10,9	2,0	4,1	7,7	13,8
U <sub>2</sub> 17-27	2,1	12,6	42,3	7,4	10,8	24,7	42,9
Разрез 7. Урбанозем среднемощный, ул. Пермская, 7а							
U <sub>1</sub> 0-10	33,8	38,1	14,2	3,5	4,0	6,4	13,9
U <sub>2</sub> 10-20	54,8	22,3	10,2	3,0	4,7	5,1	12,8
U <sub>3</sub> 30-40	60,8	18,0	8,2	2,6	4,7	5,7	13,0
U <sub>4</sub> 45-55	65,0	14,1	6,3	1,9	6,5	6,1	14,5
U <sub>5</sub> 60-70	65,6	15,1	7,7	1,2	3,5	6,9	11,6
Разрез 8. Серогумусовая, ООПТ Липовая гора							
AУ 2-15	11,2	15,8	25,6	9,4	15,9	22,1	47,4
AУВМ 15-22	3,8	18,8	29,7	9,2	16,7	21,8	47,7
ВМ <sub>1</sub> 30-40	2,4	17,0	27,5	10,4	16,7	26,1	53,2
ВМ <sub>2</sub> 60-70	1,0	25,3	31,2	3,8	18,5	20,3	42,6
ВМС 90-100	0,4	36,0	29,9	6,3	8,7	18,7	33,7
Агродерново-подзолистая почва, катена Соболи [58]							
РУ 0-29	0	19	41	10	14	15	40
ЕL 29-40	0	17	43	9	13	18	40
ВТ <sub>1</sub> 60-90	0	13	38	6	10	33	49
С 140-150	0	18	38	6	11	27	43

Урбо-дерново-подзолистая супесчаная почва разреза 1 характеризуется преобладанием в гор. U<sub>1</sub> фракций мелкого песка и крупной пыли. Содержание физической глины в гор. ВТ<sub>2</sub> высокое и достигает 38%.

Дифференциация почвенного профиля по гранулометрическому составу происходит в результате сочетания природных и антропогенных процессов. Интенсификация урбопедогенеза в почвах г. Перми сопровождается облегчением гранулометрического состава в верхних горизонтах город-

ских почв, так как в качестве минерального субстрата при планировочных работах на строительных площадках, ремонте дорог и в качестве компонента антигололедных средств используются песчаные материалы.

Супесчаные и песчаные урбаноземы на улицах Шоссе Космонавтов, Советская, Куйбышева, Пермская (разр. 4 - 7) характеризуются преобладанием крупнопылевато-песчаный фракций в верхнем гор.  $U_1$ . В разрезах 5 и 7 горизонты  $U_1-U_5$  профиля имеют супесчаный или песчаный состав. Содержание физической глины в них составляет всего 9,8-16,1%. В урбаноземе по ул. Куйбышева (разрез 6) с глубиной наблюдается утяжеление гранулометрического состава и в горизонте  $U_2$  на глубине 17-27 см содержание физической глины уже достигает 43%.

Почвы г. Перми, не подвергшиеся значительному антропогенному воздействию, наследуют гранулометрический состав почвообразующих пород (разр. 3, 8). Так, на формирование гранулометрического состава агрозема супесчаного (разр. 3) решающее значение оказал аллювий высокой поймы р. Камы. В составе фракций агрозема преобладает средний песок, содержание физической глины низкое.

Серогумусовая тяжелосуглинистая крупнопылевато-песчаная почва на элювии опесчаненных пермских глин в пределах ООПТ «Липовая гора» (разр. 8) характеризуется элювиально-иллювиальным распределением физической глины, что закономерно для почв данного типа [193; 88].

Элювиально-иллювиальный тип распределения гранулометрических фракций заметно выражен и в профиле агродерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв агроландшафта на южной окраине г. Перми, сведения о составе и свойствах которых были нами использованы для характеристики местного фона (табл. 3).

Величина МВ в почвах г. Перми имеет тенденцию отрицательной корреляции с содержанием физической глины и ила (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между содержанием фракций ГСП и значениями МВ, концентрацией химических элементов в почвах г. Перми

Показатель	ОМВ	УМВ	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu
В профиле почв (n=42)								
Физ. песок	0,15	0,17	0,11	-0,13	0,32	-0,30	-0,51	0,10
Физ. глина	-0,18	-0,24	-0,18	0,16	-0,37	0,21	0,44*	-0,16
Ил	-0,24	-0,34	-0,24	0,12	-0,41	0,21	0,30	-0,22
Поверхностные горизонты, 0-30 см (n=15)								
Физ. песок	0,14	0,19	0,20	-0,28	0,33	0,05	-0,33	0,18
Физ. глина	-0,17	-0,31	-0,32	0,33	-0,44	-0,18	0,20	-0,31
Ил	-0,21	-0,48*	-0,40	0,40	-0,52*	-0,24	0,03	-0,42
Подповерхностные горизонты и почвообразующие породы, >30 см (n=27)								
Физ. песок	0,18	0,14	-0,01	-0,19	0,30	-	-	0,01
Физ. глина	-0,17	-0,16	0,03	0,18	-0,31	0,54*	0,90*	-0,01
Ил	-0,18	-0,19	-0,01	0,12	-0,33	0,49*	0,79*	-0,05

Показатель	Mn	Sr	Ga	Rb	Y	Zr	Fe
В профиле почв (n=42)							
Физ. песок	-0,42	-0,06	-0,60*	-0,73*	-0,74*	-0,63*	-0,86*
Физ. глина	0,42	0,10	0,59*	0,73*	0,75*	0,62*	0,86*
Ил	0,37	0,01	0,59*	0,78*	0,79*	0,64*	0,81*
Поверхностные горизонты, 0-30 см (n=15)							
Физ. песок	-0,35	-0,36	-0,54*	-0,79*	-0,67*	-0,60*	-0,83*
Физ. глина	0,36	0,43	0,54*	0,79*	0,72*	0,58*	0,82*
Ил	0,35	0,49*	0,64*	0,78*	0,75*	0,54*	0,78*
Подповерхностные горизонты и почвообразующие породы, >30 см (n=27)							
Физ. песок	-0,57*	0,04	-0,66*	-0,72*	-0,76*	-0,64*	-0,89*
Физ. глина	0,57*	-0,03	0,61*	0,71*	0,78*	0,63*	0,89*
Ил	0,54*	-0,16	0,58*	0,77*	0,81*	0,68*	0,85*

\* – при P=0,95.

Наблюдается слабая положительная связь МВ с содержанием крупных фракций мелкозема. Повышенная МВ почв легкого гранулометрического состава Пермского края ранее отмечалась в исследованиях Э.Ф. Сатаева [208], А.В. Романовой [203]. Очевидно, что песчаники пермской геологической системы и продукты их выветривания обогащены вулканогенным магнетитом и титаномагнетитом. Техногенный магнетит также сосредоточен в крупных фракциях городских почв. Корреляция концентрации Cu, Zn, Pb с содержанием ила отрицательная. Обратная связь в большей мере проявляется в поверхностных горизонтах почв, где коэффициент корреляции  $r$  по Спирмену составляет от -0,18 до -0,52. Концентрация Rb, Y, Zr и Ga имеет положительную связь с содержанием физической глины и ила ( $r=0,2-0,9$ ). В верхних горизонтах почв г. Перми Sr связан с илом и с физической глиной, а в нижней части профиля нет. Железо и элементы его группы Ni и Cr, а также As и Mn сосредоточены в тонких фракциях верхней части профиля почв.

Ранее А.В. Кузнецовым [134] было установлено, что наиболее высокое содержание ТМ характерно для ила. Исследованиями S. Lu [297] установлено, что в почвах высокоурбанизированных территорий Гонконга Cu, Zn, Pb, Co, Mn, аккумулируются главным образом в глине, иле и очень тонком песке, что создает угрозу для здоровья человека. В результате вдыхания с воздухом тонкие частицы накапливаются в нижних отделах легких и вовлекаются в кровообращение.

*Общие физические свойства.* Плотность сложения почвы определяли методом Н.А. Качинского в пятикратной повторности, плотность твердой фазы пикнометрическим способом в трехкратной повторности. Пористость почвы рассчитана по формуле:

$$P_{\text{общ}} = (1 - d_v/d) * 100, \quad (2)$$

где  $P_{\text{общ}}$  – общая пористость, %;  $d$  – плотность твердой фазы почвы;  $d_v$  – плотность почвы.

Урбо-дерново-подзолистые почвы в верхней части профиля имеют низкую плотность 1,10-1,18 г/см<sup>3</sup>, с глубиной в гор. ВТ плотность почвы увеличивается до 1,40 г/см<sup>3</sup> (рис. 10). Плотные иллювиальные горизонты затрудняют миграцию подвижных форм ТМ за пределы почвенного профиля.

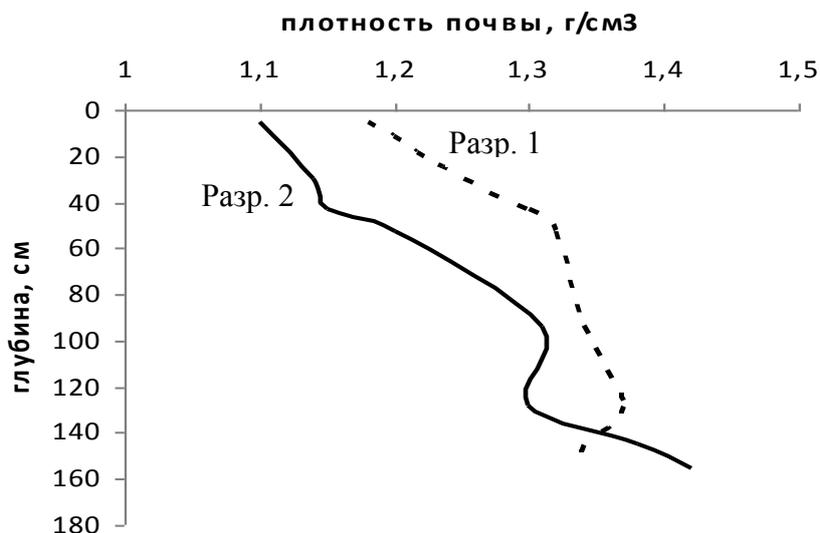


Рисунок 10 – Изменение плотности в профиле урбо-дерново-подзолистых почв г. Перми

Плотность урбаноземов во многом зависит от содержания органического вещества и интенсивности внешних физических воздействий. Урбанозем маломощный по ул. Шоссе Космонавтов, с поверхности сильно уплотнен и имеет неудовлетворительную пористость (табл. 5). С глубиной плотность возрастает до критически низких значений 1,65 г/см<sup>3</sup>, а пористость снижается до 40%. Горизонты U<sub>4</sub> и D сформированы из песчаного материала и уплотнены. Горизонты U<sub>2</sub>-U<sub>4</sub> урбанозема мощного на культурном слое по ул. Советская рыхлые, так как содержат значительное количество органического вещества, частицы бытового мусора.

Таблица 5. Общие физические свойства почв г. Перми

Горизонт, глубина опробования, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость общая, %
	d <sub>v</sub>	d <sub>0</sub>	
Разрез 4. Урбанозем маломощный, ул. Шоссе Космонавтов, 108			
U <sub>1</sub> 0-5	1,48	2,71	45
U <sub>1</sub> 5-20	1,22	2,71	55
U <sub>2</sub> 30-40	0,75	2,27	67
U <sub>3</sub> 50-60	1,55	2,77	44
U <sub>4</sub> 70-80	1,66	2,65	37
U <sub>5</sub> 85-95	1,67	2,66	37
Разрез 5. Урбанозем мощный, ул. Советская, 13			
U <sub>2</sub> 80-90	0,84	2,58	67
U <sub>3</sub> 130-140	0,86	2,5	66
U <sub>4</sub> 190-200	1,07	2,62	59
U <sub>5</sub> 240-250	1,49	2,77	46

Плотность гор. U<sub>1</sub> и AУиг почв газонов в скверах и бульварах г. Перми снижается под влиянием внесения торфо-минеральных смесей (ТМС) и во многом зависит от возраста горизонта. Так, если после внесения ТМС прошло один-два года, то плотность почвы составляет всего 0,5-0,7 г/см<sup>3</sup> (сквер Театральный, прикопка 5 – клумба; Эспланада, прикопка 13 – газон, рис. 11). Через два-три года после внесения ТМС, торф частично минерализуется и смываются водой, а плотность почвы заметно возрастает, до 0,9-1,2 г/см<sup>3</sup> (Бульвар Сов. Армии по ул. Сибирская, прикопки 1, 2, 3 – газон; Сквер Театральный, прикопки 4, 6 – газон; бульвар пр. Комсомольский, прикопка 11 – газон). На территориях, где внесение ТМС не проводилось или произошла частичная минерализация торфа, плотность значительно выше – 1,25-1,40 г/см<sup>3</sup> (бульвар пр. Комсомольский, прикопки 9, 10 – газон, Эспланада, прикопки 12, 14 – газон, Сквер Театральный, прикопки 7, 8 – газон с высокой антропогенной нагрузкой). Варьирование плотности в поверхностных горизонтах почв города высокое.

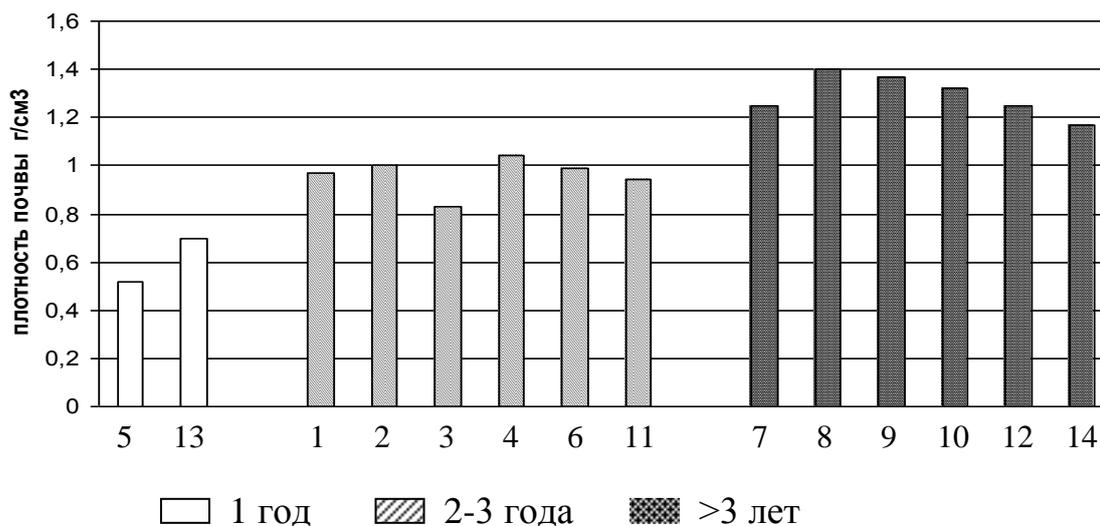


Рисунок 11 – Плотность поверхностных горизонтов (U, A<sub>Уг</sub>, A<sub>У</sub>, P) почв скверов и бульваров г. Перми: 1 год, 2-3 года, > 3 лет – период времени после внесения ТМС; 1-14 – номера прикопок

Таким образом, почвы г. Перми в результате внесения ТМС приобретают высокую пористость и влагоемкость. Заметное уплотнение городских почв происходит при их вытаптывании.

### 3.3 Физико-химические и агрохимические свойства

Образцы почв для химических анализов отбирались из генетических горизонтов основных разрезов; смешанные образцы отбирались методом конверта с глубины 0-20 см одновременно с измерением ОМВ [68, 153, 207]. В лаборатории кафедры почвоведения и научно-исследовательской лаборатории ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА были выполнены следующие анализы: общий углерод по методу Тюрина в модификации ЦИНАО [72]; потери массы при прокаливании [74]; гидролитическая кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО [71]; сумма поглощенных оснований методом Каппена-Гильковица [75]; сумма кальция и магния в карбонатных почвах методом Шмука; рН<sub>KCl</sub> и рН<sub>H2O</sub> - потенциометрическим методом [73]; подвижные формы фосфора и ка-

лия методом Кирсанова в модификации ЦИНАО [70], в карбонатных почвах методом Мачигина [69].

Физико-химические свойства поверхностных горизонтов урбо-дерново-подзолистых почв (разр. 1, 2) определяют благоприятные условия для аккумуляции ТМ из аэральных источников поступления. Высокое содержание органического вещества, нейтральная и слабощелочная реакция среды, высокая емкость катионного обмена снижают миграционную способность катионов ТМ (табл. 6).

Содержание подвижного фосфора в почвенном покрове города высокое и очень высокое за счет использования в ландшафтном строительстве фосфорных удобрений и торфа. Содержание обменного калия от низкого до среднего, что связано с незначительной емкостью катионного обмена песчаных фракций легких почв.

Гор. Р агрозема по улице Борцов Революции (разр. 3) обладает средней емкостью катионного обмена, повышенной степенью насыщенности основаниями, близкой к нейтральной реакцией среды, высоким содержанием органического вещества. Применение удобрений на приусадебном участке обеспечило очень высокое содержанием подвижного фосфора и повышенное содержание обменного калия. Вниз по профилю агрохимические показатели агрозема резко ухудшаются и его свойства приближены к супесчаным дерново-подзолистым почвам агроландшафтов Предуралья.

В процессе формирования профиля урбанозема мало-мощного по улице Шоссе Космонавтов (разр. 4) использовался торф, известь и минеральные удобрения. В результате урбопедогенеза горизонт  $U_2$  приобрел высокую емкость катионного обмена, очень высокое содержание органического вещества, слабощелочную реакцию среды. Содержание подвижного фосфора и обменного калия в этом горизонте высокое.

Таблица 6 - Физико-химические и агрохимические свойства почв г. Перми

Горизонт, глубина взятия обр., см	Сорг, %	Мг-экв-100 г почвы			V, %	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H2O</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , МГ/КГ	K <sub>2</sub> O, МГ/КГ
		Нг	S	ЕКО					
Разрез 1. Урбо-дерново-подзолистая, ул. 25 Октября, 47									
U <sub>1</sub> 0-14	4,5	0,9	49,2	50,1	98	6,7	7,3	458	121
A <sub>Yur</sub> 16-26	1,2	0,4	29,3	29,7	99	7,4	8,1	223	79
BT <sub>1</sub> 40-50	0,3	1,2	26,6	27,8	96	5,8	6,9	363	170
BT <sub>1</sub> 60-70	0,4	1,2	24,2	25,4	95	5,8	6,9	458	107
BT <sub>2</sub> 90-100	0,3	1,2	24,4	25,6	95	5,7	6,9	325	121
BT <sub>2</sub> 140-150	0,2	1,2	27,3	28,5	96	5,6	6,8	375	143
Разрез 2. Урбо-дерново-подзолистая (сквер «Чкаловский»)									
A <sub>Yur</sub> 0-24	3,5	1,5	36,0	37,5	96	6,3	7,1	127	192
A <sub>Yur</sub> EL 24-35	2,0	3,1	21,0	24,1	87	5,3	6,3	62	60
EL 35-43	0,8	3,6	11,2	14,8	76	4,7	5,9	56	40
BEL 43-53	0,4	3,6	13,5	17,1	79	4,1	5,5	111	54
BT <sub>1</sub> 65-75	0,3	4,1	22,0	26,1	84	4,0	5,3	163	100
BT <sub>2</sub> 100-110	0,3	3,8	24,8	28,6	87	4,0	5,4	183	100
BT <sub>2</sub> C 130-140	0,2	3,3	26,7	30,0	89	4,1	5,6	215	86
C 148-158	0,2	3,1	27,3	30,4	90	4,2	5,7	242	93
Разрез 3. Агрозем, ул. Борцов Революции, 107									
P 0-30	3,9	3,9	21,4	25,3	85	5,7	6,4	673	129
PBFM 30-40	1,3	2,6	4,3	6,9	63	5,1	6,3	650	54
BFM 45-55	0,3	2,1	1,3	3,4	37	5,0	6,0	375	40
BFM C 60-70	0,2	1,7	1,5	3,2	46	4,5	5,9	242	40
C 85-95	0,1	1,1	3,1	4,2	74	4,5	6,1	210	54
Разрез 4. Урбанозем маломощный, ул. Шоссе Космонавтов, 108									
U <sub>1</sub> 0-5	3,2	0,4	25,8	26,2	98	7,0	7,6	214	258
U <sub>1</sub> 5-20	4,5	0,4	45,1	45,5	99	7,1	7,7	228	178
U <sub>2</sub> 30-40	8,9	1,8	48,7	50,5	97	6,4	7,1	79	136
U <sub>3</sub> 50-60	0,2	0,4	11,2	11,6	97	6,8	7,7	195	100
U <sub>4</sub> 70-80	0,6	0,4	9,2	9,6	95	6,9	7,5	242	93
U <sub>5</sub> 85-95	0,4	0,7	5,3	6,0	88	6,3	7,4	205	79
Разрез 5. Урбанозем мощный, ул. Советская, 13									
U <sub>2</sub> 80-90	5,2	-	49,2	49,2	100	6,2	6,1	64	825
U <sub>3</sub> 130-140	4,7	-	51,2	51,2	100	6,1	6,0	98	920
U <sub>4</sub> 190-200	3	-	33,8	33,8	100	6,8	6,7	118	900
D 240-250	0,6	-	17,9	17,9	100	7,0	6,7	139	675

## Окончание таблицы 6

Горизонт, глубина взятия обр., см	Сорг, %	Мг-экв-100 г почвы			V, %	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H2O</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг
		Нг	S	ЕКО					
Разрез 6. Урбанозем мелкий, ул. Куйбышева, 147									
U <sub>1</sub> 0-12	3,7	-	37,9	37,9	100	7,1	6,8	8	675
U <sub>2</sub> 17-27	1	-	55,7	55,7	100	7,2	7,1	-	75
Разрез 7. Урбанозем среднемощный, ул. Пермская, 7а									
U <sub>1</sub> 0-10	4,2	-	36,7	36,7	100	6,9	7,0	35	380
U <sub>2</sub> 10-20	9,4	-	57,1	57,1	100	6,7	6,7	29	210
U <sub>3</sub> 30-40	3,1	-	20,1	20,1	100	6,6	7,1	54	200
U <sub>4</sub> 45-55	2,4	-	28,2	28,2	100	6,7	6,6	82	225
U <sub>5</sub> 60-70	1,4	-	27,8	27,8	100	6,7	6,9	123	170
Разрез 8. Серогумусовая, ООПТ Липовая гора									
AУ 2-15	2,5	1,2	36,0	37,2	97	6,2	7,1	235	163
AУВМ 15-22	1,4	1,7	34,7	36,4	95	5,8	6,9	210	86
ВМ <sub>1</sub> 30-40	1,1	2,3	34,4	36,7	94	5,3	6,7	228	86
ВМ <sub>2</sub> 60-70	0,8	1,8	34,8	36,6	95	5,5	6,8	242	86
ВМС 90-100	0,4	2,8	30,7	33,5	92	4,5	6,5	335	79
С 110-120	0,1	2,0	30,5	32,5	94	4,4	6,1	628	40
Разрез 9. Дерново-слабоподзолистая, залежь, м-н Бахаревка									
AУ, 0-42	1,75	5,4	11,6	17,0	68	4,3	-	-	-
ВЕL, 42-53	0,95	4,7	7,1	11,8	60	4,2	-	-	-
ВТ <sub>1</sub> , 53-82	-	4,3	20,2	24,5	82	4,1	-	-	-
ВТ <sub>2</sub> , 82-116	-	4,1	22,7	26,8	85	4,1	-	-	-
ВТ <sub>2</sub> С, 116-143	-	3,2	24,4	27,6	88	4,2	-	-	-
С, 143-167	-	3,0	24,8	27,8	89	4,3	-	-	-
Разрез 10. Дерново-мелкоподзолистая, лес, м-н Бахаревка									
AУ, 2-11	2,47	2,9	24,4	27,3	89	5,4	-	-	-
ЕL, 11-16	1,31	2,6	13,9	16,5	84	4,8	-	-	-
ВЕL, 16-25	1,14	3,2	20,3	23,5	86	4,4	-	-	-
ВТ <sub>1</sub> , 25-53	0,86	3,9	16,6	20,5	81	4,2	-	-	-
ВТ <sub>2</sub> , 53-87	0,85	3,9	21,4	26,3	81	4,2	-	-	-
ВТ <sub>2</sub> С, 87-134	-	3,0	22,5	25,5	88	4,2	-	-	-
С, 134-165	-	2,6	24,0	26,6	90	4,3	-	-	-
Агродерново-подзолистая почва, катена Соболи [58]									
РУ 0-29	2,8	6,9	18,1	25,0	72,4	4,3	5,6	13,3	7,3
ЕL 29-40	1,1	5,0	16,7	21,6	77,1	4,2	5,9	20,3	10,0
ВТ <sub>1</sub> 60-90	0,7	3,9	24,8	28,7	86,4	4,3	6,1	13,8	20,0
С 140-150	0,9	2,8	29,0	31,8	91,1	4,4	6,3	40,5	22,5

«-» - данные отсутствуют

В песчаном горизонте U<sub>5</sub> в нижней части профиля урбанозема (разр. 4) емкость катионного обмена низкая, нейтральная реакция среды, очень низкое содержание органического вещества. Урбаноземы на культурном слое, вскрытые в разрезах 5 и 7 в ядре центра города на улицах Советская и Пермская, характеризуются нейтральной реакцией среды, высоким содержанием органического вещества, низким и средним содержанием подвижного фосфора и очень высоким содержанием обменного калия.

В поверхностных горизонтах почв бульваров и скверов (ПР), по сравнению с почвами придорожных (ПД) и внутриквартальных территорий (ПК), выше поглотительная способность, а также содержание органического вещества и подвижного фосфора (табл. 7).

Таблица 7 - Физико-химические свойства поверхностных горизонтов (U, A<sub>Yur</sub>, A<sub>Y</sub>, P) почв функциональных зон (ФЗ) г. Перми, n=122

ФЗ	n	Сорг, %	Мг-экв-100 г почвы			V, %	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг
			Нг	S	Еко					
ПР	48	13,7± 6,6	4,2 ±3	51± 17,5	55± 18,8	92±5	6,3± 0,5	6,8± 0,4	258± 151	164±80
ПК	24	6,3± 2,6	1,8± 0,5	32± 12,1	32± 11,7	95±5	6,5± 0,5	6,9± 0,5	88±15	404± 137
ПД	50	6,8± 3,3	0,7± 0,4	38± 11,9	37± 11,8	99±1	6,9± 0,3	7,3± 0,4	99±46	312±63

Таким образом, в результате антропогенного воздействия на почвы г. Перми в верхней части профиля формируются горизонты с высокой ЕКО, нейтральной реакцией среды, высоким содержанием органического вещества. В ландшафтном строительстве г. Перми широко используется низинный торф местных месторождений, разработанных в долине р. Камы, что обеспечивает обогащенность органическим веществом городских почв и их высокую поглотительную способ-

ность. В целом физико-химические свойства почв г. Перми соответствуют свойствам почв крупных городов таежно-лесной зоны России.

Концентрация ферримагнитных соединений в почвах г. Перми имеет среднюю прямую корреляционную зависимость с рН (табл. 8). В условиях нейтральной реакции среды техногенный магнетит устойчив к разрушению [79]. Вместе с тем, по данным М.Н. Строгановой [227] для почвенного покрова г. Москвы между величиной МВ и рН связь слабая ( $r=0,31$ ). Связь МВ и рН можно считать региональной особенностью городских почв Предуралья. Нейтральную реакцию среды в городе обеспечивают, на наш взгляд, несколько факторов, которые также влияют на содержания в почве ферримагнитной фазы. Во-первых, в профиле городских почв продукты выветривания антропогенных щебнистых включений содержат высокомагнитные оксиды железа и ферриты, унаследованные от разных по генезису горных пород Урала и Предуралья. Во-вторых, цемент, строительная пыль обогащены магнетитом и маггемитом. В-третьих, дорожная пыль и соли антигололедных смесей также включают магнитную железосодержащую фазу. Аккумуляция пыли на поверхности городских почв обеспечивает увеличение рН в почве и одновременно рост ее МВ. Кроме того, все перечисленные выше источники ФМ одновременно служат источниками поступления ТМ в почвы [8, 37, 312].

Связь концентрации ТМ с поглотительной способностью почв г. Перми сложная (табл. 8). В почвах внутриквартальных территорий концентрация Ni, Cu, Zn, Pb, Cr коррелирует с емкостью катионного обмена, коэффициент корреляции  $r$  по Спирмену для Ni составляет 0,74; Cu - 0,75, Zn - 0,61, Pb - 0,66, Cr - 0,53. В почвах бульваров и скверов коэффициент корреляции в парах ЕКО-Cr и ЕКО-Cu составляет 0,4, а между величиной рН и концентраций Ni, Cu, Zn, Pb и Cr корреляция средняя  $r=0,33-0,55$ . В почвах внутриквар-

тальных территорий средняя корреляция проявляется в парах рН- Ni и рН-Cu. В придорожных почвах выявлена средняя корреляция в паре рН-Ni. Устойчивый в условиях нейтральной реакции среды техногенный магнетит обогащен катионами ТМ. Связь концентрации ТМ с Сорг в поверхностных горизонтах почв города проявляется только по отношению к Mn, что, очевидно, связано с природным накоплением этого элемента в торфе при болотном почвообразовательном процессе.

Таким образом, строение почвенного профиля и некоторые другие морфо-генетические признаки, особенности физических и физико-химических свойств способствуют накоплению ТМ и ФМ в почвенном покрове г. Перми. Аккумуляции ФМ и ТМ в почвах города происходит из аэральные источники и за счет антропогенных включений, в виде щебня, строительного мусора и др. В составе ферримагнетиков ТМ закрепляются в горизонтах U, A<sub>Yur</sub>, обладающих нейтральной реакцией среды.

Таблица 8 - Коэффициенты корреляции между физико-химическими свойствами и значениями  
 MB, концентрацией ТМ, As, Fe в почвах г. Перми

	OMB	УMB	Zn	As	Pb	Cr	Cu	Ni	Mn	Sr	Ga	Rb	Y	Zr	Fe
Генеральная выборка (n=122)															
Еко	-0,10	-0,10	0,11	-0,03	0,11	0,25	0,13	0,00	0,09	0,00	-0,16	-0,11	-0,03	-0,24	0,11
pHкcl	0,50*	0,50*	0,24	0,09	0,08	0,19	0,11	0,38*	0,08	-0,15	0,05	-0,31	-0,16	-0,03	0,17
pH <sub>H2O</sub>	0,42*	0,46*	0,17	0,06	-0,04	0,17	0,06	0,35*	0,00	-0,23	0,00	-0,32*	-0,16	-0,05	0,13
Сорг, %	-0,29	-0,25	-0,12	-0,20	0,12	-0,04	-0,11	-0,17	-0,01	0,00	-0,20	-0,05	-0,10	-0,27	-0,10
Бульвары и скверы (n=48)															
Еко	0,03	0,20	0,27	-0,02	0,29	0,40*	0,39*	0,14	-0,02	-0,03	-0,25	-0,40	-0,16	-0,36*	0,00
pHкcl	0,51*	0,53*	0,55*	0,08	0,38*	0,38*	0,48*	0,50*	0,03	-0,37*	-0,01	-0,03	-0,01	0,16	0,02
pH <sub>H2O</sub>	0,50*	0,50*	0,55*	0,13	0,33	0,36*	0,50*	0,52*	0,20	-0,35*	0,06	0,07	0,08	0,26	0,15
Сорг, %	-0,27	-0,15	-0,05	-0,17	0,10	0,13	0,11	-0,21	-0,19	0,05	-0,34	-0,50	-0,30	-0,54*	-0,19
Внутриквартальные территории (n=24)															
Еко	0,53*	0,67*	0,61*	0,19	0,66*	0,53*	0,75*	0,74*	0,49*	0,21	0,28	0,39*	0,40*	0,06	0,61*
pHкcl	0,39*	0,64*	0,28	-0,27	0,23	0,26	0,52*	0,64*	0,10	-0,05	-0,09	-0,22	-0,13	-0,10	0,30
pH <sub>H2O</sub>	0,55*	0,80*	0,26	0,19	0,13	0,36*	0,47*	0,81*	0,04	-0,37*	0,00	-0,40	-0,16	-0,06	0,34
Сорг, %	-0,11	0,62*	0,71*	0,08	0,54*	0,22	0,48*	0,08	0,52*	0,48*	0,12	0,39*	0,34	0,19	0,53*
Придорожные территории (n=50)															
Еко	-0,21	-0,32	0,00	-0,05	0,04	-0,21	-0,17	-0,25	0,03	0,03	-0,08	0,24	0,11	-0,03	0,08
pHкcl	0,50*	0,45*	-0,08	-0,09	-0,09	0,22	-0,08	0,36*	0,24	0,25	0,13	-0,19	-0,03	-0,08	0,26
pH <sub>H2O</sub>	0,29	0,40*	-0,18	-0,31	-0,23	0,12	-0,12	0,25	-0,01	0,06	-0,14	-0,31	-0,22	-0,28	0,11
Сорг, %	-0,32	-0,33	-0,18	-0,23	0,15	-0,09	-0,15	-0,17	-0,10	-0,21	-0,08	0,02	-0,14	-0,15	-0,14

## ГЛАВА 4. МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. ПЕРМИ

Измерение объемной магнитной восприимчивости почв проводилось прибором Каппаметр КТ-6 с диапазоном измерения от  $10^{-5}$  до  $10^0$  СИ. Магнитометрическая съемка осуществлялась по сетке квадратов 600 м, а в центре города шаг опробования составил 100 м. В каждом углу квадрата закладывалось по пять площадок площадью  $1 \text{ м}^2$ . Измерение МВ на каждой площадке проводились с поверхности почвы с 10-кратной повторностью [60]. Всего за период 2006-2009 гг. было заложено более 2600 наблюдательных площадок, выполнено около 27 тыс. единичных измерений ОМВ. Магнитная восприимчивость почв придорожных территорий улиц с разной интенсивностью движения транспорта [183] изучена методом трансект в Ленинском и Свердловском районах города. Изучение сезонной динамики ОМВ в почвах г. Перми проводилось в 2009-2012 гг. на семи стационарных площадках (рис. 2). Фоновая МВ установлена в 2012 г. в трансектах длиной 100 м на залежных и лесных дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах на южной окраине г. Перми. В разрезах и полуях трансект на фоновой территории измерение ОМВ проводилось непрерывно через каждые 6 см (диаметр измерительной части прибора) на трех стенках разреза в 4-кратной повторности на каждой глубине. Всего на фоновой территории выполнено около 2,6 тыс. локальных измерений ОМВ. Фоновая величина удельной магнитной восприимчивости (УВМ) рассчитана через ОМВ и переводной коэффициент,  $K=34$ . Переводной коэффициент определен как средняя величина соотношения объемной и удельной МВ в выборке из 122 образцов, подвергнутых элементному химическому анализу. Величина УМВ ( $\chi$ ) почв была определена в лаборатории химии почв ГНУ Почвенного института им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии на Kappabridge KLY-2.

Оценка МВ проведена по следующим показателям:

- центильный анализ МВ проведен с помощью программы Statistica 8,0;
- коэффициент магнитности (КМ) по А.Э. Молоствовскому [160]:

$$KM = k_{изм} / k_{фон}, \quad (3)$$

где  $k_{изм}$  – МВ в образце почвы,  $k_{фон}$  – фоновая МВ почв.

- коэффициент изменчивости (Кæ) МВ материнской породы по А.Ф. Вадюниной [19].

#### **4.1 Закономерности профильного и территориального распределения магнитной восприимчивости**

*Фон.* Для оценки МВ почв селитебно-транспортной части г. Перми необходимо охарактеризовать восприимчивость фоновых почв. Глобальное загрязнение окружающей среды охватывает обширные территории, прилегающие к крупным городам, и поэтому для характеристики состава и свойств фоновых почв, возможно, только их условное выделение [223, 263]. В качестве условно фоновой территории нами была выбрана южная окраина г. Перми в пределах микрорайона Бахаревка, где в структуре почвенного покрова преобладают дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы [141]. Основная часть жилых кварталов города находится на ретроспективно-аналогичных ландшафтах левобережных террас р. Камы. Магнитная восприимчивость фоновых почв была исследована по всей мощности разрезов вскрытых в лесу и на пашне, так как в результате проведения строительно-планировочных работ в процесс формирования городских почв вовлекаются все генетические горизонты естественных почв и их материнские породы.

Результаты капаметрии показали, что в дерново-подзолистых тяжело-суглинистых почвах на южной окраине г. Перми МВ подчиняется нормальному гауссовому закону распределения. В профиле исследованных почв средние арифме-

тические и медианные значения МВ совпадают (табл. 9). Это свидетельствует, во-первых, о низкой техногенной нагрузке на фоновые почвы, во-вторых, о незначительной дифференциации их магнитного профиля в процессе почвообразования.

Таблица 9 - Статистические параметры ОМВ ( $\cdot 10^{-3}$  СИ) фоновых дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв г.

Перми

Глубина, см	n	$M_{1\pm m}$	$\sigma$	lim	V, %	Md
Генеральная совокупность измерений						
0-160	2580	0,51 $\pm$ 0,10	0,13	0,10-1,26	26	0,51
Залежь						
0-30	510	0,48 $\pm$ 0,11	0,14	0,10-1,04	29	0,48
30-60	483	0,54 $\pm$ 0,09	0,12	0,14-0,92	22	0,55
Лес						
2-30	510	0,57 $\pm$ 0,11	0,14	0,21-1,26	25	0,56
30-60	510	0,50 $\pm$ 0,08	0,10	0,19-0,99	20	0,50

Магнитная восприимчивость слоя (2-30 см) лесных почв выше, так как здесь активнее развивается биогенный синтез магнетита и проявляется пирогенный механизм его образования на территории пригородного леса. Коэффициент  $K_{\text{ж}}$  в лесной почве составляет 1,02, а на залежи только – 0,53. Магнитная восприимчивость почвообразующих пород фоновых почв не различается (рис. 12) и близка к МВ покровных отложений в центре города (табл. 2).

В верхней части профиля постагрогенных дерново-подзолистых почв значения МВ минимальны, что связано с разрушением и выносом ФМ из пахотного слоя при многолетней отвальной вспашке почв в условиях гумидного климата Среднего Предуралья. Коэффициент вариации МВ и пределы ее колебаний выше в слое 0-30 см, чем в слое 0-60 см, так как в поверхностных горизонтах профиля одновременно активно проявляются почвообразовательные микропроцессы биогенного синтеза и разрушения магнитной фазы почвы.

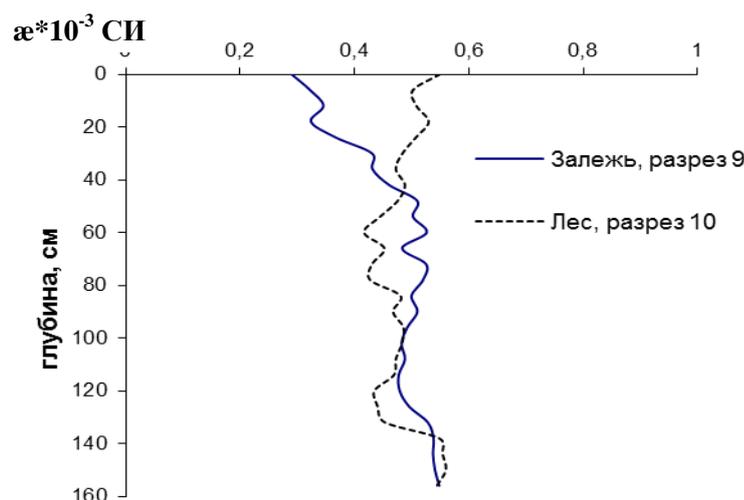


Рисунок 12 - Магнитные профили фоновых дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв г. Перми

Центильный анализ результатов измерений восприимчивости в выборке значений для слоя 0-30 см фоновых почв (n=1020) показал, что интервал «средняя» имеет границы от 0,43 до  $0,62 \cdot 10^{-3}$  СИ (табл. 10). В пределах центильного интервала «средняя» находятся среднеарифметические и медианные значения, характеризующие генеральную совокупность измерений МВ фоновых почв. Таким образом, фоновой величиной объёмной магнитной восприимчивости для почвенного покрова г. Перми является значение  $0,5 \cdot 10^{-3}$  магнитных единиц СИ.

Таблица 10 - Центильные интервалы ОМВ ( $\cdot 10^{-3}$  СИ) в слое 0-30 см фоновых дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв г. Перми

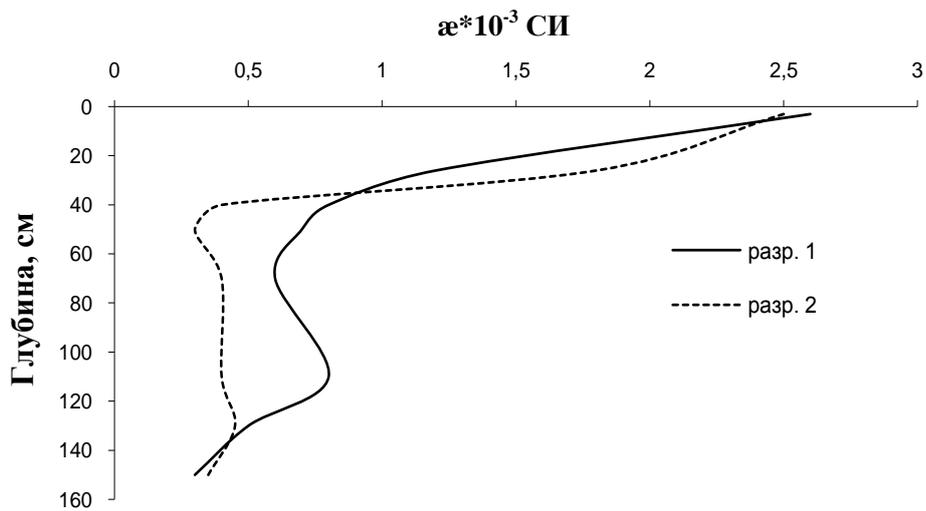
Градации центильных интервалов, n=1020						
Очень низкая < 5%	Низкая 5-10%	Ниже средней 10-25%	Средняя «норма» 25-75%	Выше средней 75-90%	Высокая 90-95%	Очень высокая >95%
<0,29	0,29-0,34	0,34-0,43	0,43-0,62	0,62-0,70	0,70-0,75	>0,75

Магнитная восприимчивость зональных почв на восточной окраине Русской равнины выше, чем в ее западной и центральной частях. Для сравнения отметим, что фоновое

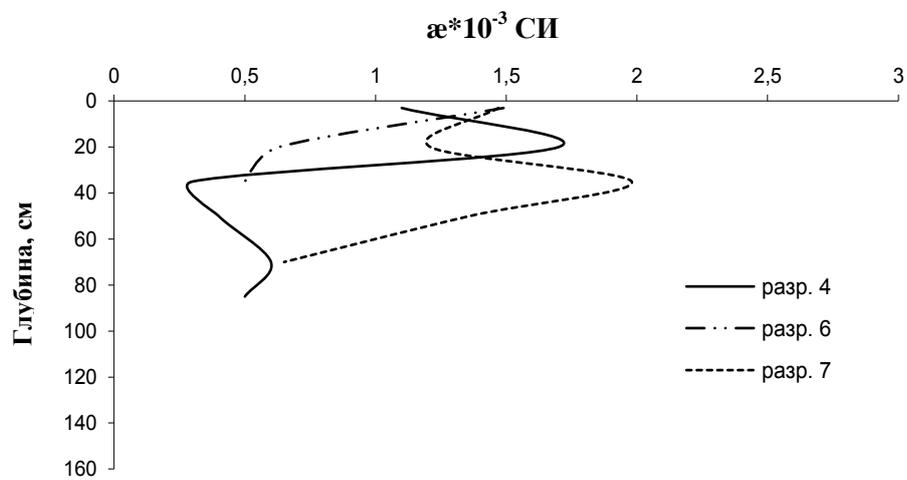
значение ОМВ для почв городов Польши составляет  $0,25 \cdot 10^{-3}$  СИ [298], для почв г. Москвы –  $0,15 \cdot 10^{-3}$  СИ [60], для г. Саратова –  $0,4 \cdot 10^{-3}$  СИ [199].

При оценке загрязнения почв химическими элементами с неустановленными пороговыми значениями обычно используют величину, которая соответствует двукратному превышению кларка или фоновой концентрации [242]. Аналогичный подход был использован нами и для установления граничного значения МВ (**МВгр.**), которое характеризует загрязнение почв г. Перми ферримагнетиками. В качестве порогового значения (**Мгр.**) для группировки почв по уровню МВ была принята величина двукратного превышения фона МВ –  $1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ. Ранее Т.В. Прокофьева [191], на основании аналитических данных состава и свойств городских почв, констатировала, что в горизонтах урбик или гумусовых горизонтах городских почв с признаками урбопедогенеза, величина МВ  $> 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ косвенно указывает на высокую степень антропогенного воздействия. В соответствии с установленной для почвенного покрова г. Перми величиной **Мгр** =  $1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ, выборка образцов, подвергнутых валовому химическому анализу, была разделена на две части: **низкомагнитные почвы** ( $< 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ) и **высокомагнитные почвы** ( $> 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ). Эта градация и термины будут далее использованы в монографии.

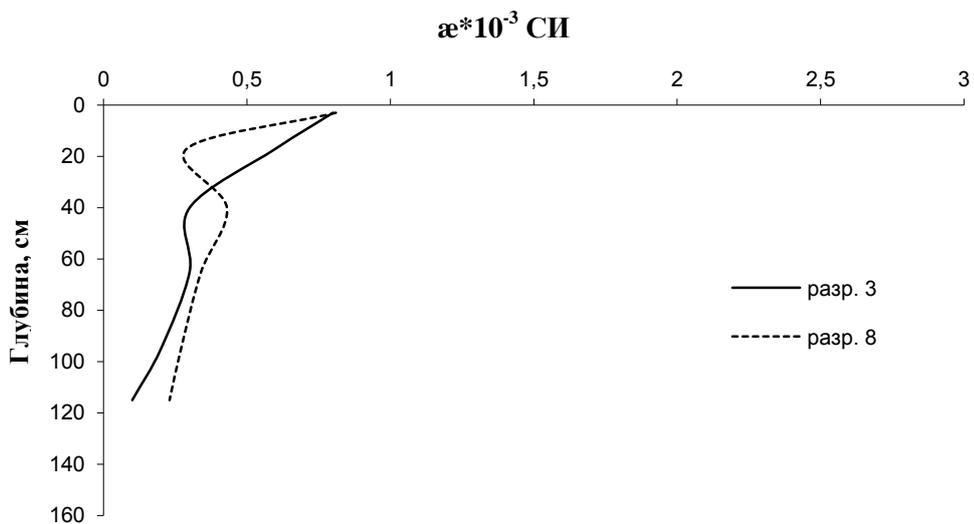
*Профильное распределение МВ.* В профилях почв г. Перми МВ была оценена как по результатам полевых измерений ОМВ, так и по данным лабораторных измерений УМВ образцов почв с нарушенной структурой [139]. Для характеристики магнитных профилей почв в центре каждого генетического горизонта было выполнено по 10 локальных измерений ОМВ. Результаты каппаметрии показали, что магнитный профиль урбо-дерново-подзолистых почв имеет четко выраженный аккумулятивный характер (рис. 13А).



А. Урбо-дерново-подзолистые почвы



В. Урбаноземы



С. Агрозем и серогумусовая почвы

Рисунок 13 - Магнитные профили почв г. Перми

Коэффициент  $K_{\text{æ}}$  в разрезах 1 и 2 аномально высокий – 8 единиц, что многократно превосходит фоновые значения  $K_{\text{æ}}$ . Магнитные профили урбаноземов отражают синлитогенный характер их формирования (рис. 13В). Максимальные значения  $OMB$  могут быть приурочены к любой части их профиля. В целях оценки магнитной структуры профилей урбаноземов нами предлагается использовать средневзвешенное значение  $K_{\text{æ}_{\text{св}}}$ . Расчет  $K_{\text{æ}_{\text{св}}}$  для каждого горизонта  $U$  был выполнен *относительно фоновой величины  $OMB$* , так как естественные почвообразующие породы в профиле урбаноземов отсутствуют. Их роль играют отложения культурного слоя. После этого было подсчитано средневзвешенное профильное значение  $K_{\text{æ}_{\text{св}}}$ , которое учитывает как мощность отдельных горизонтов  $U$ , так и мощность всего почвенного разреза. Для урбаноземов г. Перми величины  $K_{\text{æ}_{\text{св}}}$  составляют от 2,0 до 4,6 единицы, что свидетельствует об их разной степени обогащенности ФМ. В ядре городского центра  $K_{\text{æ}_{\text{св}}}$  в профиле урбаноземов (разр. 6, 7) выше, чем в почвах микрорайонов, прилегающих к центру города, так как периоды техногенного воздействия на почвы данных функциональных зон города отличается по продолжительности.

В агроземе супесчаном (разр. 3) ФМ загрязнен только пахотный слой (рис. 13С). Приусадебный участок, на котором сформировался агрозем, прилегает к проезжей части улицы и испытывает влияние автотранспорта. Дорожно-транспортное загрязнение существенно изменило  $MB$  поверхностного горизонта огородной почвы. Коэффициент  $K_{\text{æ}}$  по Вадюниной в агроземе очень высокий – 8 единиц. Магнитная восприимчивость супесчаных аллювиальных отложений на правом берегу р. Камы очень низкая – всего  $0,1-0,2 \cdot 10^{-3}$  СИ. Геологический фактор гетерогенности  $MB$  в почвенном покрове города проявляется и в почвах, сформировавшихся на элювии пород пермской геологической системы. В верхнем горизонте АУ серогумусовой тяжелосуглини-

стой почвы (разр. 8) под лесом на южной окраине г. Перми МВ выше, чем установленное фоновое значение –  $0,5 \cdot 10^{-3}$  СИ. Это связано с высоким природным содержанием в элювии пермских глин антиферромагнитного гематита  $Fe_2O_3$ . Коэффициент  $K_{\alpha}$  в изученной серогумусовой почве составляет 3,5 единицы. Значительное снижение МВ в нижней части разреза серогумусовой почвы обусловлено наличием в почвообразующей породе низкомагнитных прослоек элювия песчаников.

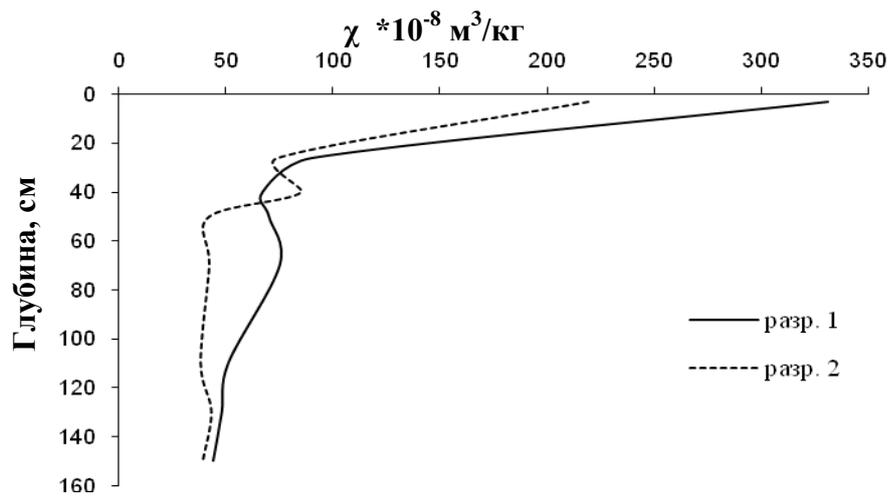
Удельная магнитная восприимчивость (УМВ) образцов почв с нарушенной структурой изменяется по профилю аналогично профильному варьированию ОМВ (рис. 14).

Корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между ОМВ и УМВ в профилях почв г. Перми (табл. 11). Чешские магнитологи считают, что использование каппаметров марки КТ-5 имеет ряд преимуществ по сравнению с широко используемыми в настоящее время приборами KLY-2 [301]. Магнитный сигнал в приборе KLY-2 искажается в результате фракционирования магнитных зерен во время подготовки образца и разрушения структуры почвы для измерений УМВ в лабораторных условиях.

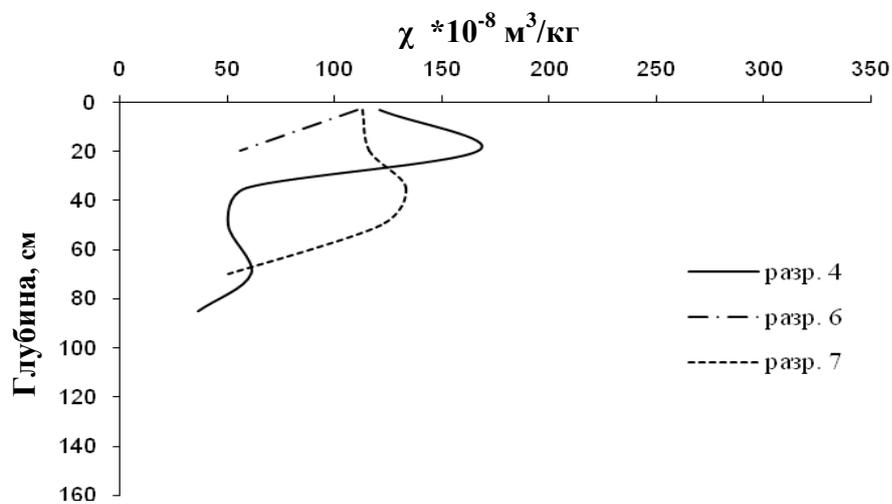
ОМВ и УМВ мы рассматриваем как самостоятельные магнитные характеристики почв, но, на наш взгляд, более объективная оценка магнитных свойств почв возможна в условиях их естественного физического состояния.

Таблица 11 - Коэффициенты корреляции между ОМВ и УМВ в профилях почв г. Перми

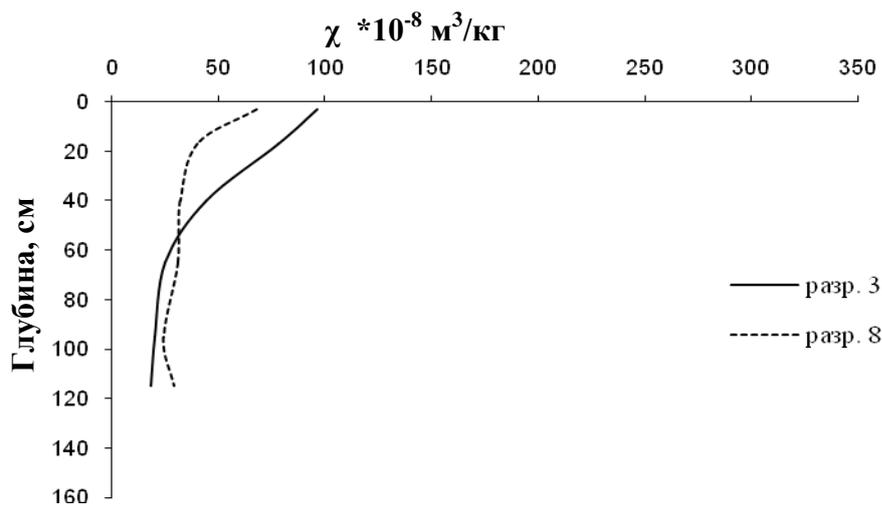
	Профиль почв (n=42)	Поверхностные горизонты (n=15)	Подповерхностные горизонты (n=27)
r	0,69*	0,86*	0,70*



А. Урбо-дерново-подзолистые почвы



В. Урбаноземы



С. Агрозем и серогумусовая почвы

Рисунок 14 – Магнитные профили почв г. Перми по данным измерения удельной магнитной восприимчивости в образцах почв с нарушенной структурой

Таким образом, магнитные профили урбо-дерново-подзолистых почв отражают аэральный характер накопления ферримагнитных соединений железа. Геологический фактор проявляется в распределении ФМ в профиле серогумусовых почв на элювии пермских глин и в почвах на (су-)песчаных аллювиальных отложениях. В профилях урбаноземов на культурном слое МВ не имеет чётко выраженных закономерностей распределения, но проявляется тенденция поверхностной аккумуляции ФМ.

*Территориальное распределение МВ.* Статистическая обработка результатов измерения ОМВ на 2636 наблюдательных площадках селитебно-транспортной части города показала, что наиболее вероятная величина (мода) ОМВ составляет  $0,90 \cdot 10^{-3}$  СИ, медиана –  $1,1 \cdot 10^{-3}$  СИ, средняя арифметическая величина –  $1,83 \cdot 10^{-3}$  СИ (табл. 12). Величина стандартного отклонения и коэффициент вариации высокие. В генеральной совокупности средняя арифметическая величина ОМВ в 3,6 раза, а медиана – в 2,2 раза выше, чем фоновое значение ( $0,5 \cdot 10^{-3}$  СИ). Квартильный анализ выявил, что на 25% всех наблюдательных площадок коэффициент магнитности КМ почв меньше 1,0. Коэффициент магнитности КМ по Э.А. Молостовскому [160] показывает отношение ОМВ в изученной почве к фоновому значению ОМВ. Низкие значения КМ в некоторой части почвенного покрова города объясняются легким гранулометрическим составом почв на супесчаном аллювии, а также использованием диамагнитных торфо-минеральных смесей в формировании урбаноземов на газонах, в скверах и бульварах города. Так, например, было установлено, что в почвах газона по ул. Ленина, 21 при содержании Сорг 40% и 22%, ОМВ составляет  $0,3$  и  $0,6 \cdot 10^{-3}$  СИ, соответственно.

Таблица 12 - Статистические параметры ОМВ ( $\cdot 10^{-3}$  СИ) почв г. Перми в генеральной совокупности измерений и в квартильных выборках

Выборки	n	M	S	$\sigma$	lim	V, %	Mo	Md
Генеральная совокупность	2636	1,83	1,42	2,12	0,07-19,31	116	0,90	1,10
1 квартиль 0-25%	656	0,35	0,11	0,13	0,07-0,56	37	0,40	0,35
2 квартиль 25-50%	654	0,81	0,13	0,15	0,57-1,09	19	0,90	0,80
3 квартиль 50-75%	661	1,47	0,23	0,27	1,10-2,09	19	1,30	1,42
4 квартиль 75-100%	665	4,61	1,89	2,57	2,10-19,31	56	2,10	3,90

В квартилях 2, 3 и 4 среднеарифметические и медианные значения ОМВ выше фона, соответственно, в 1,6; 2,9; 9,2 и в 1,6; 2,8; 7,8 раза. Наиболее существенный размах значений и высокие коэффициенты вариации ОМВ в верхнем квартиле. Средняя величина ОМВ в верхнем квартиле в 13 раз выше, чем в нижнем квартиле, а значение медианы отличается в 11 раз. Разница между верхним и нижним квартилями по средней арифметической величине ОМВ очень значительная и составляет  $4,26 \cdot 10^{-3}$  СИ. Коэффициент магнитности КМ в 3 и 4 квартилях высокий и составляет 3 и 9 единиц, соответственно. Статистические параметры ОМВ и значения КМ свидетельствуют о существенной и крайне неоднородной техногенной нагрузке на почвенный покров г. Перми. Ферромагнетики следует рассматривать в качестве загрязнителей почв г. Перми.

Распределение ОМВ в почвенном покрове г. Перми не подчиняется нормальному гауссовому закону распределения. Ранее на это указывалось рядом авторов, при характеристике почв урбанизированных территорий [60, 99, 227, 256]. Если величины каких-либо свойств или признаков не подчиняются нормальному гауссовому закону распределения, то для их оценки целесообразно применять градации центильных интервалов [11, 169, 232].

Использование центильного анализа позволило создать объективную оценочную шкалу ОМВ и УМВ почв г. Перми

(табл. 13). Для сравнения отметим, что границы центильных интервалов ОМВ почв для г. Перми значительно шире, чем, например, для г. Владимира, где были проведены магнитометрические исследования по аналогичной методике [256]. Это свидетельствуют об аномальности МВ почв восточной окраины Русской равнины, как на фоновой территории, так и на урбанизированной. Таким образом, известное положение А.И. Перельмана и Н.С. Касимова [180] о техногенной геохимической специализации городов находит свое подтверждение в различных уровнях накопления ферромагнетиков в почвах городов.

Таблица 13 - Шкала магнитной восприимчивости почв г. Перми

№ гр .	Центиль, %	Оценка МВ	УМВ*10 <sup>-8</sup> м <sup>3</sup> /кг, n=122*	ОМВ*10 <sup>-3</sup> СИ n=122*	Шкала ОМВ n=2636	Фон ОМВ n=1020
1	< 5	очень низкая	< 22	< 0,22	< 0,21	<0,29
2	5-10	низкая	22-34	0,22-0,3	0,21-0,3	0,29-0,34
3	10-25	ниже средней	34-79	0,3-0,6	0,3-0,57	0,34-0,43
4	25-75	средняя («норма»)	79-239	0,6-3,1	0,57-2,1	0,43-0,62
5	75-90	выше средней	239-447	3,1-5,4	2,1-4,5	0,62-0,70
6	90-95	высокая	447-568	5,4-7,4	4,5-6,3	0,70-0,75
7	> 95	очень высокая	>568	>7,4	> 6,3	>0,75

\* - центильные интервалы МВ в образцах почв, подвергнутых химическому анализу

Пространственная неоднородность распределения магнитных соединений заметно проявляется в почвенном покрове функциональных зон г. Перми. В большей мере ферромагнетики аккумулируются в почвах придорожных территорий (ПД) (табл. 14). Размах колебаний МВ здесь очень широкий. В почвах бульваров и скверов (ПР), а также во дворах кварталов жилых домов (ПК) значения ОМВ достоверно ниже.

Таблица 14 - Статистические параметры магнитной восприимчивости почв функциональных зон г. Перми

ФЗ	n	M±m	σ	V, %	Разница средних			t факт для пар сравнения		
					ПР-ПК	ПД-ПР	ПД-ПК	ПР-ПК	ПД-ПР	ПД-ПК
<b>ОМВ*10<sup>-3</sup> СИ</b>										
ПР	48	1,2±0,9	0,7	57	-0,1	2,7	2,6	0,4	5,0*	4,6*
ПК	24	1,3±1,3	0,9	70						
ПД	50	3,9±3,7	2,8	73						
<b>УМВ*10<sup>-8</sup> м<sup>3</sup>/кг</b>										
ПР	48	145±102	74	51	16	177	193	0,8	4,2*	4,7*
ПК	24	129±59	46	36						
ПД	50	322±277	218	68						

Магнитная восприимчивость почв придорожных территорий (**roadside soils**) была детально изучена в два этапа [140].

На первом этапе была выполнена оценка МВ почв придорожных территорий по данным всех каппаметрических измерений почв вдоль дорожного полотна улиц центра города. В почвах придорожной полосы МВ варьирует в очень широких пределах – от  $0,1 \cdot 10^{-3}$  СИ до  $16,5 \cdot 10^{-3}$  СИ (рис. 15). Верхняя граница нормы (75% всех значений) МВ придорожных почв находится в интервале от 1,8 до  $6,3 \cdot 10^{-3}$  СИ, а нижняя граница (25% всех значений) – в интервале  $1,1-2,6 \cdot 10^{-3}$  СИ. Максимальные величины МВ на каждой улице в несколько раз превышают медиану для совокупности всех измерений. Среднее медианное значение ( $M_{dcp}$ ) МВ на  $0,8 \cdot 10^{-3}$  СИ выше в почвах на улицах с интенсивным движением автотранспорта, чем на улицах с его умеренным движением (рис. 15).

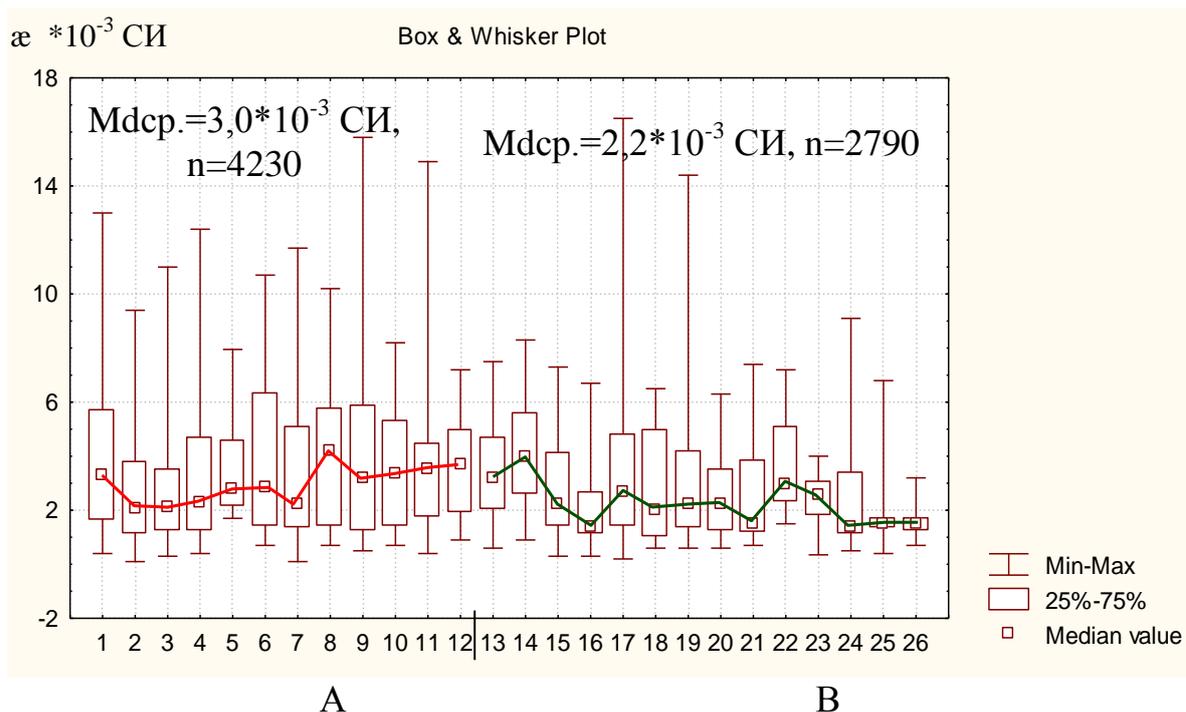


Рисунок 15 - Статистические параметры ОМВ почв придорожных территорий улиц с интенсивным (А) и умеренным (В) движением автотранспорта

На втором этапе была охарактеризована ОМВ в трансектах, расположенных перпендикулярно дорожному полотну. Наблюдательные площадки в трансектах закладывались на разном расстоянии от проезжей части улицы. Максимальные значения ОМВ почв наблюдаются на расстоянии до 3м от дорожного полотна. Эта закономерность проявляется на улицах города, как с интенсивным, так и умеренным движением автотранспорта (табл. 15). Коэффициент вариации ОМВ изменяется от 6% – на ул. Красноармейской до 82% – на ул. Сибирской. В почвах на расстоянии более 3м от проезжей части ОМВ закономерно снижается (табл. 16, 17). Выполненные нами исследования подтверждают интенсивную аккумуляцию ферромагнетиков в почвах придорожной полосы [60, 90, 287, 304].

Таблица 15 - Статистические показатели ОМВ почв придорожных территорий улиц г. Перми, с разной интенсивностью движения автотранспорта

№	Улица	Расстояние, м	n	$M \pm m, *10^{-3}$ СИ	$\sigma, *10^{-3}$ СИ	Lim, $*10^{-3}$ СИ	V, %
1	Куйбышева**	< 3	22	7,14±1,2	2,76	12,4-1,2	39
		3-5	6	5,0±1,38	1,32	6,9-3,3	26
		5-10	19	3,24±0,8	1,66	7,7-0,5	51
		> 10	21	1,56±0,33	0,74	2,9-0,4	48
		Общее	68	4,14±0,72	2,97	12,4-0,4	72
2	Петропавловская**	< 3	19	4,13±1,30	2,69	9,4-0,1	65
		3-5	3	3,63±3,83	1,54	5,4-2,6	42
		5-10	6	2,90±2,62	2,51	7,3-0,2	87
		> 10	21	1,61±0,48	1,07	3,8-0,1	66
		Общее	49	2,87±0,67	2,30	9,4-0,1	80
3	Сибирская**	< 3	12	4,0±2,06	3,26	11,0-0,6	82
		3-5	3	3,46±2,43	0,98	4,6-2,8	28
		5-10	4	2,57±2,54	1,60	3,9-0,3	62
		> 10	9	1,45±0,55	0,73	2,7-0,3	51
		Общее	28	2,92±0,95	2,47	11,0-0,3	85
4	Героев Хасана**	< 3	10	6,79±1,9	2,71	12,4-4,0	40
		3-5	5	2,34±0,7	0,57	3,1-1,6	24
		5-10	8	1,80±1,1	1,36	4,4-0,5	76
		> 10	14	1,95±0,77	1,36	5,8-0,5	70
		Общее	37	3,28±0,9	2,76	12,4-0,5	84
5	Ленина**	< 3	10	5,16±1,2	1,68	7,95-2,8	33
		3-10	4	2,13±2,8	1,75	4,6-0,7	82
		> 10	12	1,88±0,26	0,40	2,8-1,3	22
		Общее	26	3,20±0,80	1,98	7,95-0,7	62
6	Екатерининская**	< 3	24	6,66±0,78	1,9	10,7-3,9	29
		3-10	4	2,0±0,4	0,28	2,2-1,6	14
		> 10	21	1,5±0,27	0,64	3,2-0,7	43
		Общее	49	4,07±0,82	2,91	10,7-0,7	72
7	Луначарского*	< 3	24	5,83±1,05	2,49	11,7-1,6	43
		3-10	4	1,82±0,98	0,62	2,4-1,1	34
		> 10	21	1,22±0,25	0,58	2,2-0,1	48
		Общее	49	3,53±0,83	2,89	11,7-0,1	82
8	Пушкина**	< 3	7	3,61±0,56	2,18	6,0-0,8	60
		3-10	3	1,1±0,90	0,36	1,4-0,7	33
		> 10	4	2,65±3,37	2,13	4,99-0,7	80
		Общее	14	2,80±1,19	2,07	6,0-0,7	74

Продолжение таблицы 15

№	Улица	Расстояние, м	n	M±m, *10 <sup>-3</sup> СИ	σ, *10 <sup>-3</sup> СИ	Lim, *10 <sup>-3</sup> СИ	V, %
9	Революции**	< 3	12	7,22±2,05	3,21	15,8-3,3	45
		3-10	5	2,10±2,31	1,86	5,2-0,5	89
		> 10	5	2,48±1,53	1,24	3,7-0,9	50
		Общее	22	4,98±1,54	3,48	15,8-0,5	70
10	25 Октября**	< 3	15	4,69±1,14	2,04	8,2-1,2	44
		3-10	9	2,47±1,09	1,42	4,7-0,8	57
		> 10	4	1,35±0,73	0,46	1,8-0,7	34
		Общее	28	3,50±0,82	2,14	8,2-0,7	61
11	Островского**	< 3	15	4,72±2,04	3,66	14,9-0,5	78
		3-10	3	2,30±6,71	2,07	4,500,4	90
		> 10	8	1,83±0,93	1,1	3,9-0,9	61
		Общее	26	3,55±1,30	3,19	14,9-0,4	90
12	Дзержинская**	< 3	7	5,67±1,08	1,17	7,2-4,2	21
		3-10	3	2,8±1,97	0,81	3,7-2,1	29
		> 10	3	1,83±1,46	0,59	2,4-1,2	33
		Общее	13	4,12±1,21	2,00	7,2-1,2	49
13	Окулова*	< 3	8	4,89±1,40	1,68	7,5-2,4	34
		3-10	5	2,94±2,53	2,03	6,1-0,6	69
		> 10	4	1,63±0,64	0,40	2,2-1,3	25
		Общее	17	3,54±1,06	2,06	7,5-0,6	58
14	Монастырская*	< 3	14	5,09±1,10	1,90	8,3-0,9	37
		3-10	5	2,90±1,19	0,97	4,2-1,7	33
		> 10	6	2,75±1,64	1,58	5,3-1,1	58
		Общее	25	4,09±0,80	1,99	8,3-0,9	49
15	Советская*	< 3	15	3,95±1,12	2,02	7,3-1,2	51
		3-10	5	1,64±1,34	1,08	3,3-0,3	66
		> 10	4	1,13±0,51	0,32	1,4-0,8	28
		Общее	24	3,00±0,87	2,08	7,3-0,3	69
16	Пермская*	< 3	6	3,08±2,36	2,25	6,7-0,3	73
		3-10	9	1,46±0,67	0,87	3,1-0,6	60
		> 10	4	1,80±1,27	0,79	2,9-1,1	44
		Общее	19	2,04±0,76	1,55	6,7-0,3	76
17	Красноармейская*	< 3	3	4,53±0,65	0,26	4,8-4,3	6
		3-10	3	2,33±0,75	0,30	2,6-2,0	13
		> 10	4	2,20±2,19	1,38	2,1-1,0	63
		Общее	10	2,92±0,99	1,38	4,8-1,0	47
18	Тимирязева*	< 3	6	4,65±2,0	1,9	6,5-2,0	41
		3-10	3	1,6±12,71	1,4	2,6-0,6	88
		> 10	4	2,0±4,30	2,02	5,0-0,7	101
		Общее	13	3,23±1,33	2,20	6,5-0,6	70

## Окончание таблицы 15

№	Улица	Расстояние, м	n	M±m, *10 <sup>-3</sup> СИ	σ, *10 <sup>-3</sup> СИ	Lim, *10 <sup>-3</sup> СИ	V, %
19	Газеты Звезда*	< 3	17	3,57±1,42	2,75	9,7-0,7	77
		3-10	7	2,34±1,04	1,12	3,7-0,7	48
		> 10	7	1,59±0,61	0,66	2,6-0,6	42
		Общее	31	2,84±0,84	2,26	9,7-0,6	80
20	Максима Горького*	< 3	15	3,60±0,88	1,62	6,3-0,8	45
		3-10	5	1,55±0,88	0,73	2,5-0,7	47
		> 10	9	1,45±0,64	0,85	3,2-0,6	59
		Общее	29	2,59±0,64	1,66	6,3-0,6	60
21	Плеханова*	< 3	3	5,26±4,89	1,97	7,4-3,5	38
		3-10	5	2,06±1,91	1,53	4,2-0,7	74
		> 10	4	1,2±0,33	0,21	1,5-1,0	18
		Общее	12	2,57±1,27	2,03	7,4-0,7	79
22	Соловьева*	< 3	5	4,54±2,20	1,77	7,2-2,8	39
		3-10	3	2,07±0,56	0,22	2,3-1,9	11
		> 10	4	2,18±1,11	0,70	3,1-1,5	32
		Общее	12	3,13±1,08	1,68	7,2-1,5	54
23	Краснополянская*	< 3	6	5,42±1,26	1,20	7,9-2,7	22
		3-10	3	1,80±4,10	1,65	3,7-0,8	92
		> 10	4	1,0±0,31	0,61	1,6-0,2	61
		Общее	13	3,32±3,23	2,56	7,9-0,2	80
24	Лодыгина*	< 3	8	5,70±2,06	2,46	9,1-2,0	43
		3-10	4	1,45±1,75	1,10	3,0-0,4	76
		> 10	16	1,35±0,30	0,56	2,9-0,5	42
		Общее	28	2,61±0,94	2,42	9,1-0,4	93
25	Гусарова*	< 3	7	3,27±1,49	1,93	5,9-0,6	59
		3-10	4	1,75±0,76	0,39	2,3-1,4	22
		> 10	10	1,40±0,36	0,77	3,7-0,5	50
		Общее	21	1,95±0,51	1,41	5,9-0,5	72
26	Весенняя*	< 3	3	2,20±2,21	0,89	3,2-1,5	41
		3-10	3	1,03±0,43	0,17	1,2-0,9	20
		> 10	3	1,47±1,72	0,69	2,0-0,7	47
		Общее	9	1,57±0,59	0,76	3,2-0,7	49

\* -улицы с умеренным движением автотранспорта, \*\* - улицы с интенсивным движением автотранспорта

Таблица 16 - Оценка по t-критерию Стьюдента разницы средних значений ОМВ в почвах г. Перми на разном расстоянии от дорожного полотна

№ п.п.	Название улицы	n	Варианты сравнения					
			1 - 2	1 - 3	1 - 4	2 - 3	2 - 4	3 - 4
1	Куйбышева	68	2,14*	3,90*	5,58*	1,76*	3,44*	1,68*
2	Петропавловская	49	2,26	2,47	1,34*	3,21	1,90	2,15
3	Сибирская	28	0,54	1,43*	2,55*	0,89	2,01*	1,12*
4	Г. Хасана	37	4,45*	4,99*	4,84*	0,54	0,39	-

Примечания: Варианты сравнения: 1 - <3м; 2 – 3-5м; 3 – 5-10м; 4 - >10м.

Таблица 17 - Оценка по t-критерию Стьюдента разницы средних значений ОМВ в почвах на разном расстоянии от дорожного полотна улиц г. Перми

№ п.п.	Название улицы	n	Варианты сравнения		
			1 - 2	1 - 3	2 - 3
5	Ленина	26	2,25*	1,10*	1,90
6	Екатерининская	49	4,66*	5,16*	0,50*
7	Луначарского	49	4,01*	4,70*	0,60*
8	Пушкина	14	0,72*	3,04	-
9	Революции	22	2,65*	2,30*	-
10	25 Октября	28	1,50*	1,21*	0,98*
11	Островского	26	3,87	2,14	3,63
12	Дзержинская	13	2,87*	3,84*	0,97*
13	Окулова	17	2,40	1,29*	2,21
14	Монастырская	25	1,41*	1,72*	1,74
15	Советская	24	1,49*	1,10*	1,21
16	Пермская	19	2,17*	2,13	-
17	Красноармейская	17	0,61*	1,16*	1,84
18	Тимирязева	13	3,05*	2,65*	-
19	Г. Звезда	31	0,87*	1,98*	0,93
20	Горького	29	1,09*	0,94	1,19
21	Плеханова	12	3,20*	2,69*	-
22	Соловьева	12	1,96*	2,04	-
23	Краснополянская	13	2,54*	1,35*	2,57
24	Лодыгина	28	2,30*	1,83*	1,20
25	Гусарова	21	1,48*	1,36*	0,55
26	Весенняя	9	1,44	1,80	-

Примечания: Варианты сравнения: 1 - <3м; 2 – 3-10м; 3 - >10м.

По результатам магнитометрической съемки впервые были построены *картосхемы магнитной восприимчивости* почвенного покрова г. Перми в масштабе 1 : 1750 [25]. Почвы с наиболее высокой ОМВ сформировались на территориях, прилегающих к цехам ОАО «Мотовилихинские заводы» (рис. 16). Загрязнение почв ферримагнетиками связано с более чем 270-летней историей металлургического и машиностроительного производства на этом крупном промышленном предприятии Предуралья. Дочернее предприятие ОАО «Мотовилихинские заводы» ЗАО МЗ «Камасталь» ежегодно производит более 300 тыс. тонн стали для нужд машиностроения [104], что сопровождается загрязнением ферримагнетиками почвенного покрова, прилегающего к территории завода. Высокая МВ почв характерна и для центра г. Перми (рис. 17).

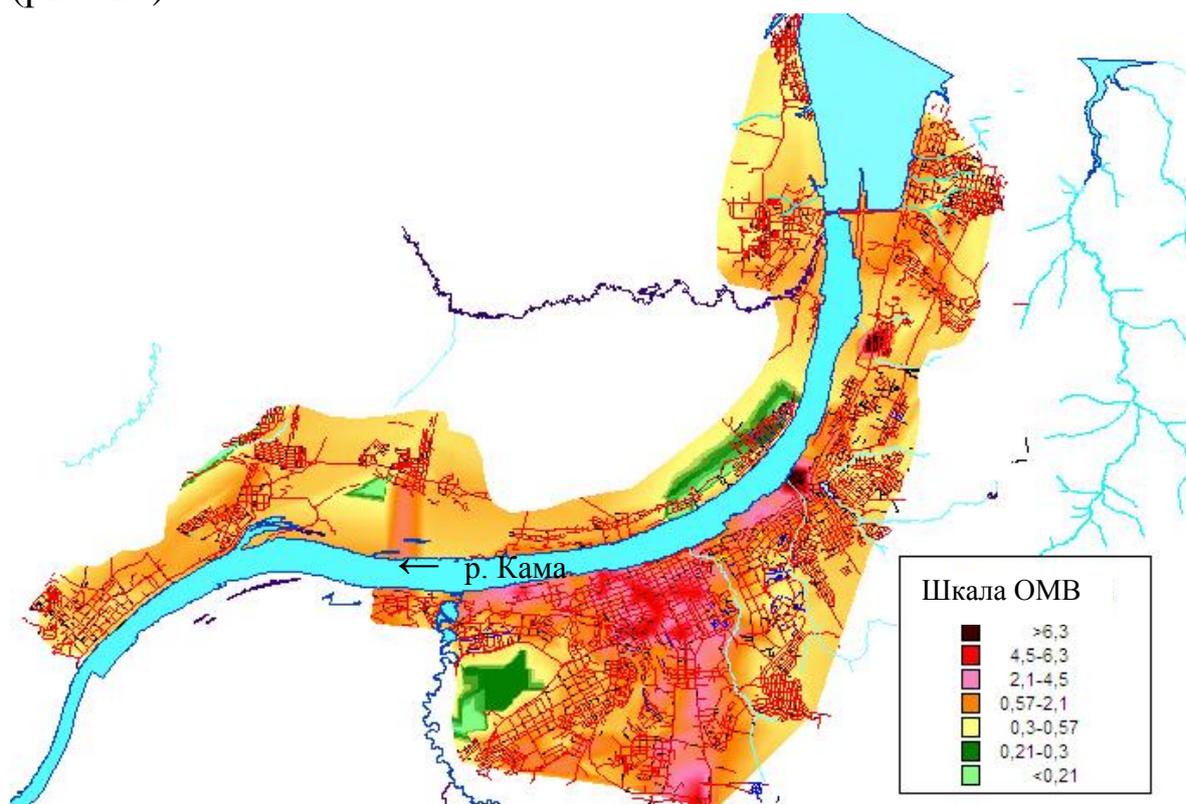


Рисунок 16 - Картосхема объемной магнитной восприимчивости почвенного покрова г. Перми, шаг опробования 600 м

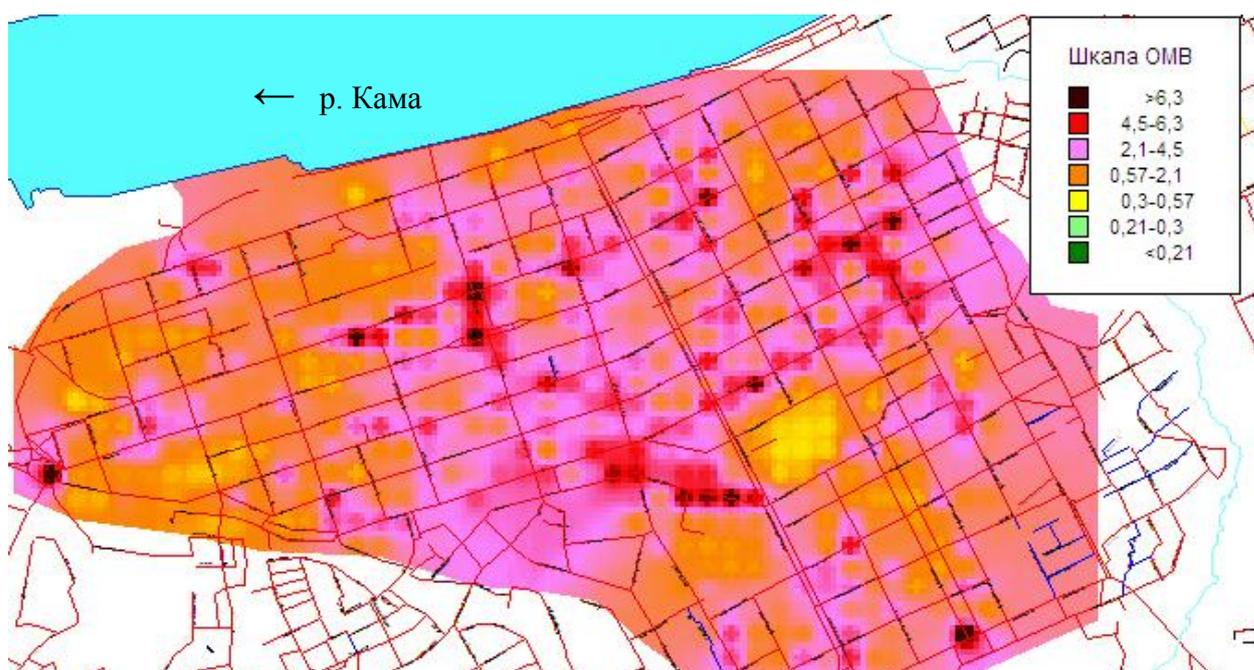


Рисунок 17 - Картограмма ОМВ почвенного покрова ядра городского центра и прилегающих микрорайонов г. Перми, шаг опробования 100м

На левом берегу р. Камы в ядре городского центра большая часть почвенного покрова характеризуется ОМВ в центильных интервалах «средняя» и «выше средней», а 40-45% площади почвенного покрова городского центра имеют ОМВ «выше средней», «высокая» и «очень высокая».

Ареалы почв с «очень высокими» значениями ОМВ соотносятся на картограмме с перекрестками улиц с интенсивным движением автотранспорта: ул. Попова - ул. Петропавловская, ул. Попова - ул. Ленина, ул. Куйбышева - ул. Революции. «Очень высокая» МВ и в почвах вдоль загруженных автотранспортом улиц: ул. Революции, ул. Пушкина, ул. Екатерининская, ул. Петропавловская на отрезке от Комсомольского проспекта до площади Гайдара. Почвы по Комсомольскому проспекту, где наблюдается высокая интенсивность движения транспорта, на картограмме выделены как почвы с ОМВ в интервале «средняя» - «выше средней». Верхние горизонты почв бульвара на Комсомольском проспекте в последнее десятилетие регулярно обновляются торфо-

минеральной смесью, что заметно снижает их ОМВ. Ареалы почв с ОМВ «ниже средней» и «средняя» приурочены к территориям скверов, бульваров города и парка им. М. Горького, где в ландшафтном строительстве активно используется низинный торф.

Основные территории города с очень низкой и низкой ОМВ почв совпадают с границами особо охраняемых природных территорий: Черняевский лес и Верхнекурьянский природный ландшафт. Низкая ОМВ почв природных ландшафтов на первой и второй надпойменных террасах р. Камы связана с их легким гранулометрическим составом.

Закономерности содержания магнитных соединений в почвах *правобережной части* г. Перми рассмотрим на примере почвенного покрова основных функциональных зон Кировского района. В селитебной части этого административного района города четко выделяются микрорайоны индивидуальной жилой застройки (ИЖЗ) 40-60 гг. 20 века и микрорайоны многоэтажной жилой застройки (МНЗ) 60-70 гг. 20 века. Почвы правобережной части города сформировались на почвообразующих породах легкого гранулометрического состава. ОМВ почв и пород правобережья по сравнению с почвами левобережья ниже. Среднее значение ОМВ в почвах микрорайонов индивидуальной жилой застройки всего  $0,35 \cdot 10^{-3}$  СИ (табл. 18). В почвах территорий многоэтажной застройки и в почвах придорожных территорий величина ОМВ значительно выше.

Таблица 18 - Статистические параметры ОМВ почв правобережной части г. Перми, Кировский район

ФЗ	n	M±m	σ	Lim	V,%	Mo	Md
ИЖЗ	32	0,35±0,09	0,11	0,05-0,49	33	0,38	0,39
МНЗ	44	0,58±0,05	0,06	0,42-0,69	11	0,53	0,57
ПД	63	1,76±0,97	1,24	0,59-6,52	71	0,91	1,25

Максимальные значения ОМВ на территории Кировского района характерны для почв, прилегающих к проезжей части улиц с высокой интенсивностью движения автотранспорта: Маршала Рыбалко, Калинина, Ласьвинская (рис. 18).

Оценка различий аккумуляции техногенных ФМ соединений в почвенном покрове основных функциональных зон правобережной части города показала их достоверность (табл. 19).

Таблица 19 - Оценка по t-критерию Стьюдента различий ОМВ почвенного покрова функциональных зон Кировского района г. Перми

	Разница средних			t факт для пар сравнения		
	МНЗ-ИЖЗ	ПД - ИЖЗ	ПД - МНЗ	МНЗ-ИЖЗ	ПД - ИЖЗ	ПД - МНЗ
ОМВ	0,23	1,41	1,18	10,9*	11,8*	9,8*

Ареалы почв с ОМВ в интервалах от «очень низкая» до «ниже средней» сформировались в пределах кварталов индивидуальной жилой застройки Кировского района (рис. 19). В районах, прилегающих к автомагистралям и промышленным предприятиям ОАО «Завод горно-шахтного машиностроения» и ФКП «Пермский пороховой завод», формируются почвы с МВ «высокая» и «очень высокая». В кварталах многоэтажной жилой застройки преобладают ареалы почв с ОМВ «средняя» и «ниже средней». Установленная нами повышенная магнитная восприимчивость почвенного покрова части территории Кировского района дополняет оценку крайне неблагоприятной экологической ситуации в этом административном районе города [147].

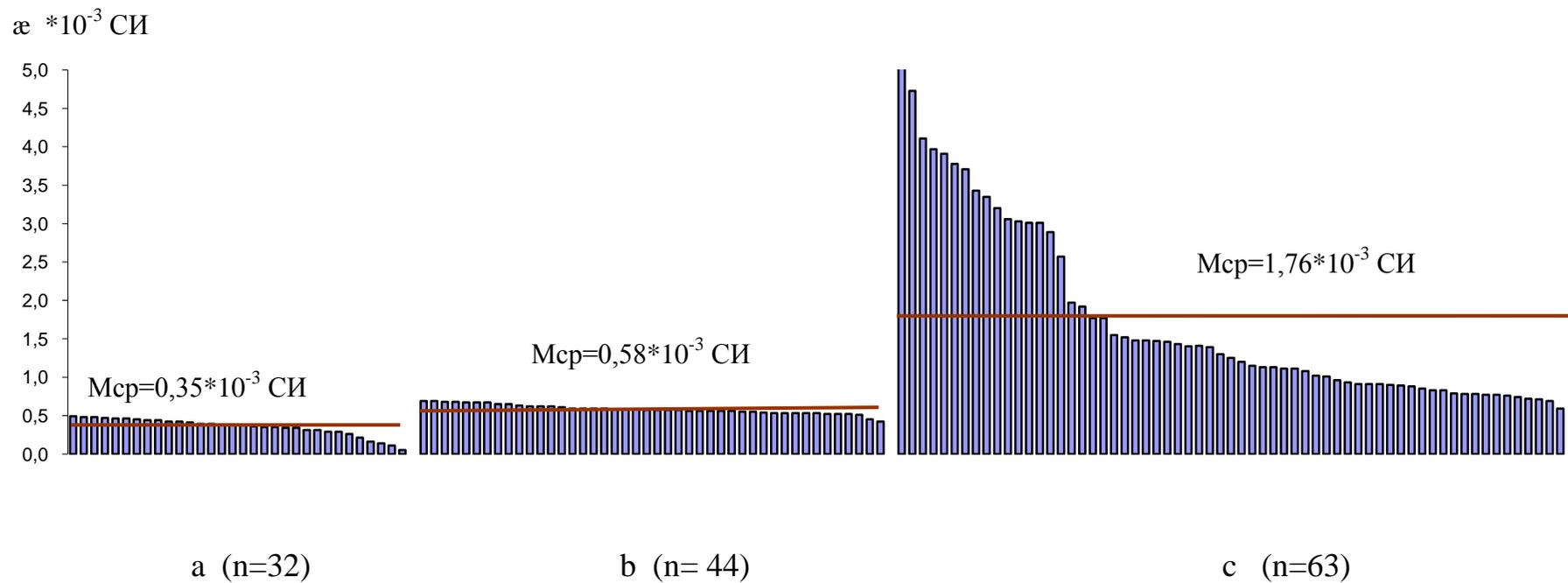


Рисунок 18 - Гистограммы ОМВ почв индивидуальной жилой (а), многоэтажной (б) застройки и придорожных территорий (с) улиц Кировского района г. Перми. ■ – значение МВ на наблюдательных площадках, при 10-кратной повторности измерений

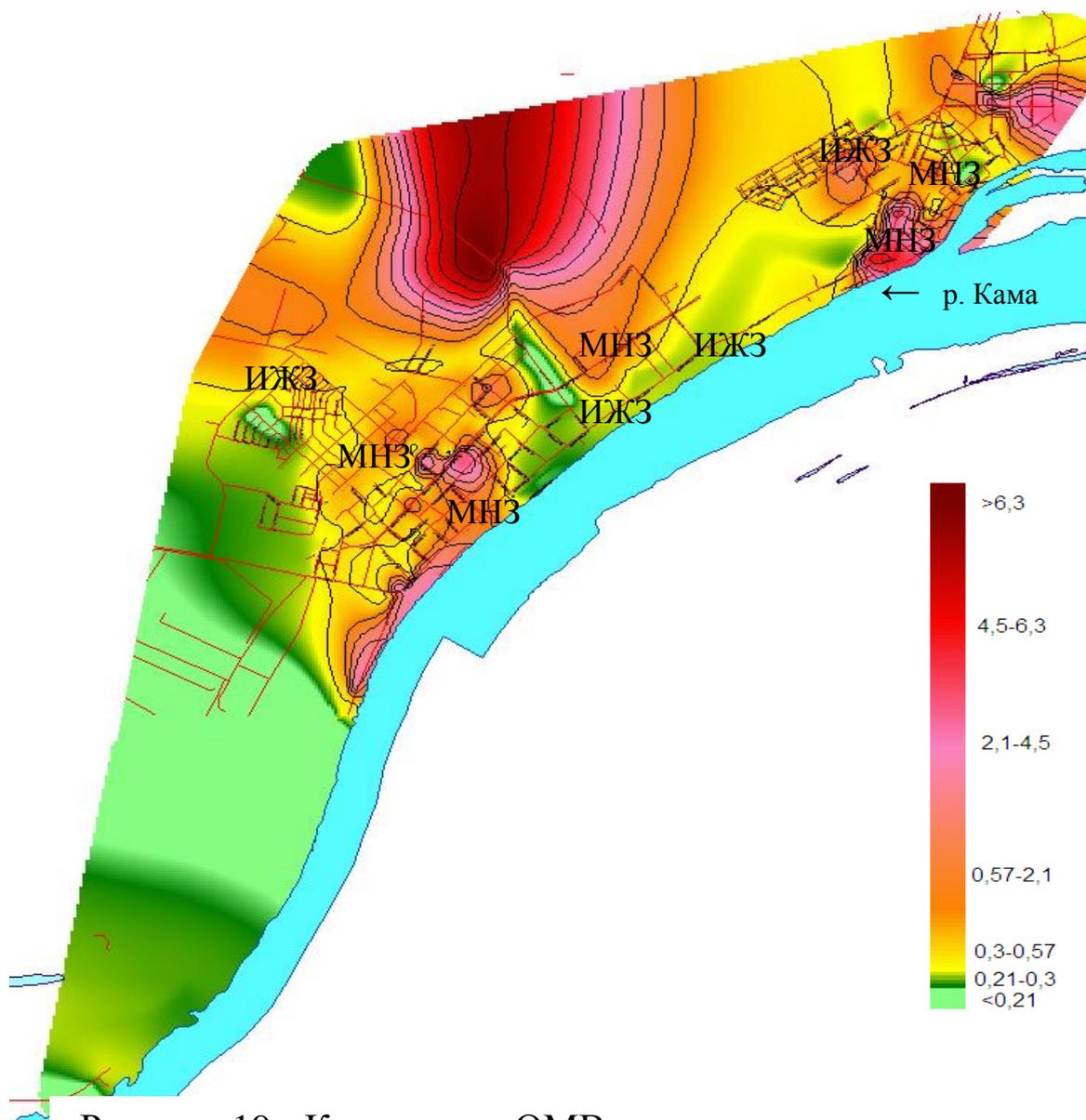


Рисунок 19 - Картосхема ОМВ почвенного покрова правобережной части г. Перми, Кировский район

Таким образом, ФМ аккумулируются в основном в верхней части профиля почв г. Перми. В урбаноземах ядра центра города ФМ загрязняют весь почвенный профиль, что связано с длительной историей их формирования на культурном слое в историческом центре города. Техногенная нагрузка на почвенный покров города крайне неоднородная. Увеличение магнитной восприимчивости почв функциональных зон происходит в ряду: «почвы рекреации = почвы внутриквартальных территорий < почвы придорожных территорий». Акку-

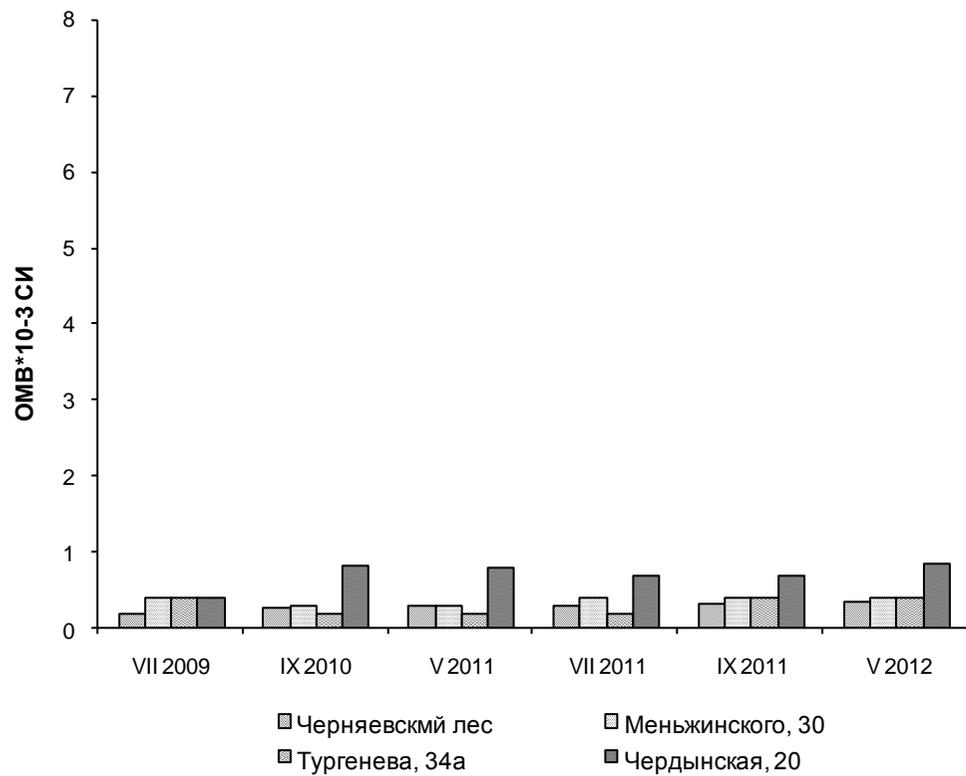
муляция высокомагнитных соединений более интенсивно протекает на расстоянии от 0 до 3 м от дорожного полотна. Аномально низкие значения ОМВ (ниже фона) характерны для почв легкого гранулометрического состава и для поверхностных горизонтов почв, подвергнутых рекультивации диамагнитными торфо-минеральными смесями.

#### **4.2 Динамика объемной магнитной восприимчивости почв**

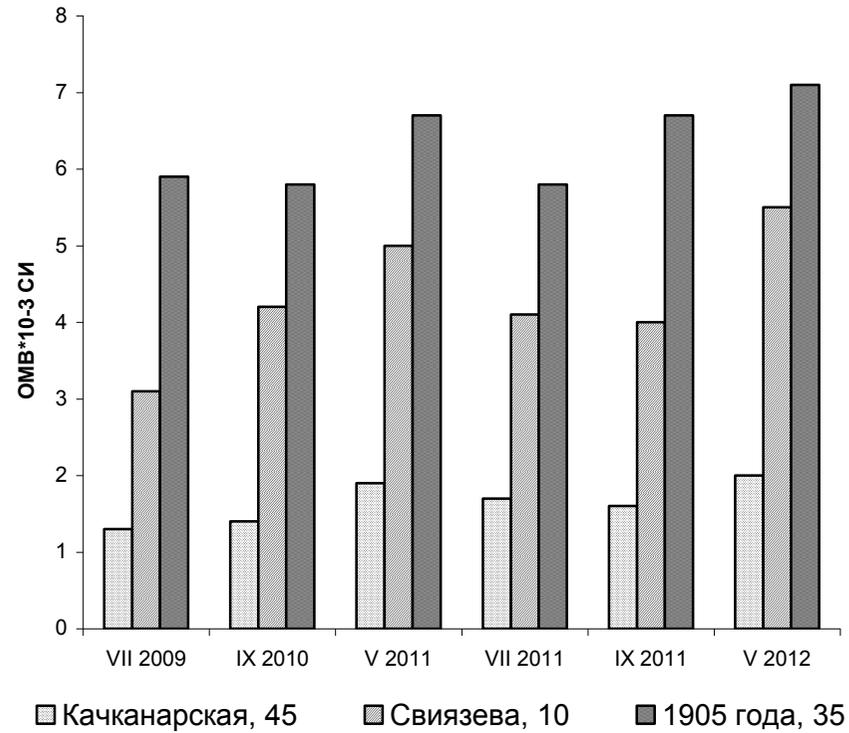
Измерение в динамике МВ почв позволяет оценить стабильность этого свойства почвы и его информативность для эколого-геохимической оценки почвенного покрова города [59].

Наблюдения за динамикой ОМВ разномагнитных почв в селитебной части разных административных районов города (рис. 8) выявили следующие закономерности. Почвы по ул. Связева, 10 подвергаются сильному техногенному воздействию из-за интенсивного движения автотранспорта по этой автомагистрали (рис. 20). Магнитная восприимчивость поверхностного слоя изученного урбанозема «высокая», и имеет тенденцию возрастать весной после таяния снега. В зимний период года снег аккумулирует ФМ из аэральные источники. В летний и осенний периоды 2009-2012 гг. урбаноземы не подвергались значительному загрязнению ФМ, и ОМВ оставалась на одном уровне.

Магнитная восприимчивость поверхностного горизонта урбанозема по ул. Качканарская, 45 в Орджоникидзевском районе «средняя». В весенний период некоторое увеличение МВ почвы отражает аккумулятивные функции снежного покрова по отношению к ФМ [20, 263]. За три года наблюдений коэффициент вариации для величины ОМВ составил 17%.



**А**



**В**

Рисунок 20 - Динамика ОМВ ( $\text{æ} \cdot 10^{-3} \text{ СИ}$ ) в почвах г. Перми с разным уровнем ОМВ: А - низкая - средняя ОМВ, В - средняя - высокая ОМВ, 2009-2012 гг.

Динамика МВ высокомагнитного урбанозема на территории Мотовилихинского района выражена слабо ( $V=9\%$ ). Длительная (свыше 270 лет) аккумуляция ФМ в урбаноземе по ул. 1905 года, 35 определила его аномально высокую МВ. Величина МВ почвы на этой стационарной площадке превышает фоновое значение в 14 раз (рис. 20). Дополнительное поступление ФМ, на фоне исходно высокой МВ, не оказало существенного влияния на динамику МВ.

На наблюдательных площадках почв с исходно низким уровнем МВ (градации «низкая», «ниже средней» и «средняя») динамика величины МВ была выражена в большей мере. Коэффициент вариации за три года составил 12-18%. В природном образовании «Черняевский лес» дерново-подзолистая почва на второй надпойменной террасе р. Камы может быть рассмотрена как фоновая почва для части территории города с естественными почвами легкого гранулометрического состава. Наблюдательная площадка была расположена в хвойном лесу на расстоянии более 200 м от проезжей части Шоссе Космонавтов. Магнитная восприимчивость этой почвы ниже, чем установленная фоновая величина ( $0,5 \cdot 10^{-3}$  СИ) для тяжелосуглинистых почв. За три года наблюдений автотранспорт не оказал прямого антропогенного воздействия на МВ почвы в Черняевском лесу.

Почвы внутриквартальных территорий по ул. Менжинского, 30 в Орджоникидзевском районе и по ул. Тургенева, 34а в Мотовилихинском районе характеризуются МВ, близкой к фону. Они испытывают незначительное техногенное воздействие по сравнению с почвами придорожных территорий. Выбросы автотранспорта и промышленных предприятий принимают на себя жилые дома и деревья. Превышение фона было установлено только в весенний период наблюдений 2011-2012 гг в почве внутривортовой территории по ул. Чердынская, 20

Индустриального района. Ранее было установлено, что за двадцатилетний период наблюдений, МВ почв парков г. Ижевска достоверно увеличилась [224].

Таким образом, величина МВ является достаточно стабильным показателем и отражает многолетнее техногенное воздействие на почву, что позволяет надежно использовать это свойство почвы в магнитно-геохимических исследованиях загрязнения почвенного покрова города.

## ГЛАВА 5. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. ПЕРМИ

Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова города рассматривается в монографии как анализ *содержания, распределения и взаимосвязи* химических элементов в почвах на *профильном и территориальном уровнях*.

### 5.1 Макроэлементы

Валовой химический состав был определен рентгенфлуоресцентным методом на приборе Tefa-6111 в лаборатории химии почв ГНУ Почвенного института им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии и методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на приборе iCAP-6000 в Центре аналитических исследований ОАО «МНИИЭКО ТЭК». Выполнено свыше 3800 элементо-определений в 159 образцах почв.

*Профильное распределение.* Региональной особенностью профильного распределения химических элементов в тяжело-суглинистых дерново-подзолистых почвах южной окраины г. Перми (разр. 61) является повышенное содержание железа в почвообразующих породах и его элювиально-иллювиальное профильное распределение. Процессы разрушения и выноса соединений железа из верхних горизонтов урбопочв по своим масштабам уступают процессам техногенной аккумуляции железа. Проявление техногенеза в урбо-дерново-подзолистых почвах и агроземе (разр. 1-3) наиболее четко выражено в аккумуляции железа в поверхностных горизонтах  $U_1$  0-14 и  $A_{Yur}$  0-24,  $P$  0-30, где содержание  $Fe_2O_3$  выше на 0,6-1,4% по сравнению с подповерхностными горизонтами  $A_{Yur}$  16-26,  $A_{YurEL}$  24-35,  $EL$  35-43,  $VEL$  43-53 (табл. 20).

*Содержание CaO* в урбо-дерново-подзолистых почвах селитебно-транспортной части города (разр. 1 и 2) выше, чем в условно фоновой дерново-подзолистой почве (разр. 61). Кроме того, концентрация CaO в городских почвах преобладает над концентрацией MgO. Существенные различия в содержании

химических элементов городских и фоновых почв проявляются только в верхней части профиля. В гор. U и AYur почв сели-тебно-транспортной территории г. Перми содержание CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub> превышает кларковые значения для почв мира в 1,3-2,7 раза и почв Европы – в 1,7-5,5. В средней и нижней части профиля урбо-дерново-подзолистых почв концентрация этих элементов значительно ниже и близка к фону [26].

Профильное распределение химических элементов в урбаноземах (разр. 4, 5, 6, 7) более сложное. Синлитогенный характер почвообразования отражается в отсутствии зональных закономерностей элювиально-иллювиального профильного распределения SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В разр. 5 и 7 урбаноземов ядра центра города концентрация P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub> и Cl в гор. U превышает их среднее содержание в почвах мира и Европы, соответственно, в 7-12, 9-16 и 5-9 раз. Аккумуляция этих элементов происходила в процессе формирования культурного слоя и почв в ядре городского центра в течение нескольких столетий. Возраст урбанозема по Шоссе Космонавтов, 108 и ул. Куйбышева, 147 исчисляется только несколькими десятилетиями, и поэтому содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и SO<sub>3</sub> в этих почвах мало отличается от кларковых значений.

Химический состав агрозема (разр. 3) характеризуется повышенным содержанием SiO<sub>2</sub> по всему профилю почвы, так как почва огородного участка сформировалась на супесчаном аллювии. Процессы окультуривания огородных почв сопровождаются накоплением CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O и SO<sub>3</sub> в гумусовом горизонте почв, где их концентрация в несколько раз выше, чем в средней части профиля и почвообразующей породе.

Серогумусовая тяжелосуглинистая почва (разр. 8) в рекреационной части города на территории ООПТ Липовая гора имеет свои особенности. Содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO в этой почве высокое, так как элювий пермских глин обогащен гематитом и железосодержащими силикатами, в составе которых доминируют монтмориллонит и хлорит [193].

Таблица 20 - Содержание химических элементов в профилях почв г. Перми, %

Горизонт, глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
Разрез 1. Урбо-дерново-подзолистая, ул. 25 Октября, 47											
U <sub>1</sub> 0-14	61,6	8,58	4,70	0,61	0,12	5,09	2,47	0,36	1,38	0,44	0,035
A <sub>Yur</sub> 16-26	68,5	10,0	3,34	0,53	0,11	2,48	1,55	0,20	1,37	0,27	0,029
BT <sub>1</sub> 40-50	65,0	15,1	5,70	0,85	0,12	1,50	1,88	0,10	2,19	0,08	0,020
BT <sub>1</sub> 60-70	66,0	14,3	5,27	0,83	0,13	1,54	1,41	0,13	2,09	0,12	0,016
BT <sub>2</sub> 90-100	66,2	14,3	5,33	0,81	0,11	1,46	1,32	0,02	2,07	0,05	0,018
BT <sub>2</sub> 140-150	66,0	14,4	5,77	0,84	0,12	1,58	1,35	0,06	2,12	0,04	0,010
Разрез 2. Урбо-дерново-подзолистая, сквер «Чкаловский»											
A <sub>Yur</sub> 0-24	66,2	11,2	5,43	0,84	0,17	1,82	1,68	0,17	1,75	0,21	0,029
A <sub>YurEL</sub> 24-35	73,5	11,9	4,85	0,99	0,16	1,38	1,12	0,15	1,90	0,15	0,039
EL 35-43	75,8	10,2	4,15	0,92	0,18	0,95	0,98	0,06	1,90	0,11	0,027
BEL 43-53	75,2	12,1	4,81	0,90	0,11	1,04	1,74	0,13	2,05	0,10	0,031
BT <sub>1</sub> 65-75	68,4	14,4	6,33	0,91	0,10	1,24	1,83	0,09	2,12	0,07	0,018
BT <sub>2</sub> 100-110	65,8	14,7	6,79	0,91	0,14	1,33	0,97	0,03	2,10	0,05	0,021
BT <sub>2</sub> C 130-140	64,7	15,0	7,03	0,89	0,14	1,40	1,98	0,17	2,08	0,11	0,031
C 148-158	66,5	15,0	6,73	0,84	0,15	1,47	1,78	0,13	2,16	0,07	0,038
Разрез 3. Агрозем, ул. Борцов революции, 107											
P 0-30	62,3	9,4	4,09	0,56	0,17	2,71	1,16	0,94	1,38	0,21	0,020
PBFM 30-40	71,3	10,1	3,24	0,53	0,09	1,63	1,11	1,11	1,10	0,15	0,032
BFM 45-55	76,4	9,2	2,32	0,35	0,05	0,76	1,16	0,32	1,00	0,11	0,024
BFM C 60-70	81,8	8,7	2,33	0,28	0,04	0,79	0,99	0,19	1,00	0,10	0,022
C 85-95	80,9	7,7	2,27	0,28	0,03	0,69	1,00	0,12	1,05	0,07	0,021

## Продолжение таблицы 20

Горизонт, глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
Разрез 4. Урбанозем маломощный, Шоссе Космонавтов, 108											
U <sub>1</sub> 0-5	72,6	8,65	2,84	0,37	0,06	1,95	1,69	0,20	1,51	0,24	0,028
U <sub>1</sub> 5-20	70,5	7,77	3,05	0,41	0,06	3,31	2,55	0,17	1,20	0,34	0,052
U <sub>2</sub> 30-40	54,2	6,66	2,83	0,43	0,06	4,92	1,07	0,06	1,14	0,63	0,087
U <sub>3</sub> 50-60	74,0	11,5	3,18	0,42	0,07	1,24	1,26	0,13	1,66	0,13	0,039
U <sub>4</sub> 70-80	80,7	8,27	2,45	0,34	0,04	0,96	1,48	0,21	1,11	0,20	0,049
U <sub>5</sub> 85-95	76,3	9,81	2,28	0,40	0,05	0,89	0,91	0,17	1,67	0,11	0,025
Разрез 5. Урбанозем мощный, ул. Советская, 13											
U <sub>2</sub> 80-90	53,7	8,67	4,70	0,57	0,09	3,61	1,04	2,08	1,31	1,39	0,072
U <sub>3</sub> 130-140	58,5	7,64	4,54	0,52	0,22	3,07	1,36	2,13	1,51	1,60	0,089
U <sub>4</sub> 190-200	67,2	8,60	2,64	0,50	0,08	2,18	1,47	1,12	1,54	0,54	0,109
D 240-250	72,9	8,0	1,93	0,29	0,03	0,92	1,48	0,54	1,21	0,32	0,093
Разрез 6. Урбанозем мелкий, ул. Куйбышева, 147											
U <sub>1</sub> 0-12	61,4	9,63	5,97	0,67	0,31	3,57	1,22	0,23	1,37	0,35	0,03
U <sub>2</sub> 17-27	60,3	12,28	5,77	0,80	0,14	5,43	1,63	0,13	1,84	0,15	0,04
Разрез 7. Урбанозем среднеспособный, ул. Пермская, 7а											
U <sub>1</sub> 0-10	60,3	7,92	4,15	0,50	0,09	4,30	0,49	0,35	1,48	0,57	0,025
U <sub>2</sub> 10-20	45,8	5,77	4,13	0,49	0,09	7,10	0,37	0,18	1,07	0,93	0,020
U <sub>3</sub> 30-40	66,9	9,13	4,75	0,66	0,08	1,65	0,45	0,25	1,50	0,29	0,013
U <sub>4</sub> 45-55	64,4	9,45	5,28	0,66	0,09	1,98	0,74	0,45	1,55	0,36	0,020
U <sub>5</sub> 60-70	71,3	8,41	2,71	0,37	0,06	1,52	0,55	0,52	1,39	0,20	0,028

Окончание таблицы 20

Горизонт, глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
Разрез 8. Серогумусовая, ООПТ Липовая гора											
АУ 2-15	62,5	13,8	6,28	0,84	0,16	2,39	2,01	0,11	1,70	0,10	0,031
АУВМ 15-22	59,3	14,9	7,03	0,82	0,17	2,46	2,24	0,14	1,50	0,04	0,029
ВМ <sub>1</sub> 30-40	60,5	15,5	7,34	0,81	0,13	2,47	2,16	0,13	1,57	0,08	0,022
ВМ <sub>2</sub> 60-70	58,9	15,3	7,23	0,81	0,16	2,37	2,82	0,13	1,52	0,05	0,027
ВМС 90-100	61,5	17,6	7,22	0,72	0,12	2,39	2,44	0,13	1,55	0,04	0,02
С 110-120	60,1	15,3	6,62	0,67	0,31	2,54	2,69	0,10	1,27	0,03	0,056
Разрез 61. Агродерново-подзолистая почва (фон)											
РУ 0-29	72,9	13,1	4,20	0,84	0,11	0,94	2,10	0,21	1,66	-	0,016
ЕL 29-40	73,3	12,2	4,20	0,84	0,08	0,85	2,25	0,07	1,74	-	-
ВТ <sub>1</sub> 60-90	66,4	14,2	6,50	0,81	0,12	1,01	3,06	0,08	1,78	-	-
С 140-150	66,5	13,8	6,42	0,81	0,12	1,21	3,43	0,09	1,77	-	0,09
Почвы мира	51,8	13,3	5,43	0,77	0,11	1,92	1,04	0,18	1,63	0,21	0,01
Почвы Европы	67,7	11,0	3,51	0,572	0,065	0,922	0,77	0,128	1,92	0,06	0,009

«-» - данные отсутствуют

Таким образом, факторы формирования состава и содержания почвообразующих элементов, серы и хлора в профилях почв города разнообразны. Литогенный фактор четко прослеживается в профилях агрозема и серогумусовой почвы. Элементный химический состав этих почв определяется особенностями минералогии почвообразующих пород. Состав урбаноземов и поверхностных горизонтов урбо-дерново-подзолистых почв формируется в основном под влиянием антропогенного загрязнения.

*Территориальное распределение.* В поверхностных горизонтах почв г. Перми (0-20 см) среднеарифметические и медианные значения концентрации CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cl превышают кларки и концентрацию элементов в условно фоновых почвах (табл. 21). Содержание CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cl характеризуется высокой вариабельность. Распределение химических элементов в почвенном покрове г. Перми не подчиняется нормальному гауссовому закону распределения, поэтому для оценки их содержания использовались границы центильных интервалов [232].

В результате наших исследований центильные интервалы содержания основных почвообразующих элементов в почвенном покрове г. Перми были установлены впервые (табл. 22). В почвах г. Перми «норма» содержания SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ниже, чем средняя концентрация этих элементов в почвах мира и Европы, а «норма» содержания CaO, MgO, Cl, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> выше кларковых значений.

В почвах придорожных территорий (ПД) содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, SO<sub>3</sub> достоверно выше, чем в почвах рекреационных (ПР) и внутриквартальных (ПК) территорий (табл. 23, 24).

Таблица 21 – Статистические показатели содержания химических элементов (%) в поверхностных горизонтах (U, A<sub>Yur</sub>, A<sub>Y</sub>, P) почв г. Перми, n=122

Хим. элемент	M	±m	σ	lim	V, %	Mo	Md	Почвы мира	Почвы Европы	Условный фон
SiO <sub>2</sub>	58,4	8,8	10,6	35,5-80,3	15	46,4	59,2	51,8	67,7	72,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,2	2,0	2,5	1,3-13,4	28	13,4	7,1	13,3	11,0	13,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,0	0,9	2,2	1,5-27,0	22	3,8	3,8	5,43	3,51	4,20
TiO <sub>2</sub>	0,59	0,24	0,58	0,16-5,07	41	0,40	0,50	0,77	0,572	0,84
MnO	0,11	0,05	0,11	0,02-0,87	43	0,10	0,10	0,11	0,065	0,11
CaO	4,03	1,82	2,37	0,12-12,78	45	2,92	3,63	1,92	0,922	0,94
MgO	2,68	1,70	2,86	0,23-24,14	63	1,69	1,79	1,04	0,77	2,10
SO <sub>3</sub>	0,46	0,21	0,27	0,10-1,31	46	0,27	0,39	0,21	0,06	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41	0,23	0,31	0,02-1,67	56	0,13	0,37	0,18	0,128	0,21
K <sub>2</sub> O	1,25	0,38	0,49	0,03-2,17	31	0,96	1,30	1,63	1,92	1,66
Cl	0,035	0,015	0,023	0,003-0,164	43	0,030	0,031	0,01	0,009	0,016

«-» данные отсутствуют

Таблица 22 - Центильные интервалы концентрации химических элементов в почвах г. Перми, n=122

Химический элемент	Номер группы, градации центильных интервалов и концентрация элементов, %						
	1 Очень низкая <5 %	2 Низкая 5-10 %	3 Ниже среднего 10-25 %	4 Среднее «норма» 25-75 %	5 Выше среднего 75-90 %	6 Высокая 90-95 %	7 Очень высокая >95 %
SiO <sub>2</sub>	<40,4	40,4-44,3	44,3-52,2	52,2-68,1	68,1-71,5	71,5-75,3	>75,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<3,75	3,75-4,03	4,03-5,23	5,23-8,72	8,72-11,2	11,2-12,3	>12,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<2,19	2,19-2,82	2,82-3,22	3,22-4,57	4,57-5,12	5,12-5,63	>5,63
TiO <sub>2</sub>	<0,23	0,23-0,27	0,27-0,39	0,39-0,65	0,65-0,84	0,84-1,2	>1,2
MnO	<0,036	0,036-0,045	0,045-0,08	0,08-0,11	0,11-0,16	0,16-0,53	>0,53
CaO	<0,31	0,31-1,44	1,44-2,17	2,17-5,22	5,22-7,16	7,16-8,31	>8,31
MgO	<0,49	0,49-0,93	0,93-1,22	1,22-3,19	3,19-5,84	5,84-8,83	>8,83
SO <sub>3</sub>	<0,11	0,11-0,17	0,17-0,27	0,27-0,55	0,55-0,86	0,86-0,96	>0,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,06	0,06-0,1	0,1-0,16	0,16-0,51	0,51-0,84	0,84-1,0	>1,0
K <sub>2</sub> O	<0,08	0,08-0,55	0,55-0,87	0,87-1,53	1,53-1,86	1,86-2,08	>2,08
Cl	<0,01	0,01-0,013	0,013-0,024	0,024-0,042	0,042-0,057	0,057-0,079	>0,079

Таблица 23 - Содержание химических элементов (%) в поверхностных горизонтах (U, AYur, AY, P) почв функциональных зон (ФЗ) г. Перми

ФЗ	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
ПР	54,5	7,8	3,9	0,59	0,10	3,30	1,91	0,44	1,39	0,43	0,02
ПК	65,1	7,8	3,5	0,46	0,08	3,92	2,33	0,34	1,40	0,42	0,04
ПД	60,1	6,0	4,6	0,41	0,09	5,52	4,46	0,36	1,04	0,52	0,05

Таблица 24 - Оценка различий по t-критерию Стьюдента содержания химических элементов в поверхностных горизонтах (U, AYur, AY, P) почв функциональных зон г. Перми

Химические элемен- ты	Разница средних концентраций			t факт для пар сравнения		
	ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК	ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	0,64	1,1	2,9*	2,91*	4,6*
CaO	-0,62	2,22	1,6	1,4	6,2*	3,1*
MgO	-0,42	2,55	2,13	1,2	5,8*	3,8*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1	-0,08	0,02	1,3	1,82	0,39
K <sub>2</sub> O	-0,01	-0,35	-0,36	0,1	5,0*	4,0*
SO <sub>3</sub>	0,01	0,09	0,1	0,2	2,0*	2,1*

Антропогенные источники поступления химических элементов в почвы города разнообразны. Высокое содержание  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  в придорожных почвах связано с использованием в городском хозяйстве и строительстве антигололёдных смесей, щебня карбонатных пород и цемента. Железо поступает в придорожные почвы при истирании дорожного полотна, деталей автотранспорта и с выхлопными газами. Сера аккумулируется в почвах придорожных территорий в составе органического вещества торфа, гипсовой пыли, сернистого ангидрида, сероводорода. В поверхностных горизонтах почв г. Перми содержание соединений серы значительно превышает критические пороговые значения и в отдельных случаях концентрация  $\text{SO}_3$  достигает 1,3%. Аккумуляция соединений  $\text{Cl}$  в поверхностных горизонтах почв г. Перми связана с применением хлорсодержащих антигололёдных смесей.

В почвах рекреационных территорий содержание  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  выше кларка и превышает среднегородскую величину. Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  высокое в почвах бульваров и скверов, внутриквартальных территорий. Повышенное содержание  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  в части почв города связано с использованием минеральных удобрений в ландшафтном строительстве.

*Взаимосвязь.* Корреляционный анализ по Спирмену показал, что в поверхностных горизонтах почв существует достоверно высокая прямая связь содержания  $\text{TiO}_2$  с  $\text{MnO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с  $\text{K}_2\text{O}$ , средняя связь в парах  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -  $\text{MgO}$ ;  $\text{CaO}$  -  $\text{MgO}$ ;  $\text{CaO}$  -  $\text{SO}_3$ . (табл. 25). Антогонизм проявляется у алюминия с кальцием, магнием и серой, а у кальция с кремнием, титаном и марганцем.

Таблица 25 - Коэффициенты корреляции концентрации химических элементов в почвах г. Перми, n=122

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl
SiO <sub>2</sub>	1,00										
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36*	1,00									
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,28	0,02	1,00								
TiO <sub>2</sub>	-0,18	0,01	-0,04	1,00							
MnO	-0,09	-0,09	0,11	0,77*	1,00						
CaO	0,39*	0,36*	0,10	0,36*	-0,35	1,00					
MgO	-0,24	0,45*	0,63*	-0,06	0,04	0,41*	1,00				
SO <sub>3</sub>	0,42*	0,49*	-0,13	-0,13	-0,14	0,44*	0,01	1,00			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,11	-0,29	-0,17	0,00	0,16	-0,01	-0,19	0,25	1,00		
K <sub>2</sub> O	0,27	0,82*	0,01	-0,28	0,47*	-0,21	0,44*	0,31	-0,25	1,00	
Cl	0,03	-0,25	-0,07	-0,08	-0,04	0,29	0,41*	0,20	-0,04	-0,25	1,00

Дендрограммы кластер-анализа построены по методу Варда, мера расстояния - коэффициент Пирсона.

Кластерный анализ множественной взаимосвязи элементов подтвердил некоторые закономерности парной корреляции и позволил выделить четыре группы геохимических ассоциаций элементов с тесной связью (рис. 21).

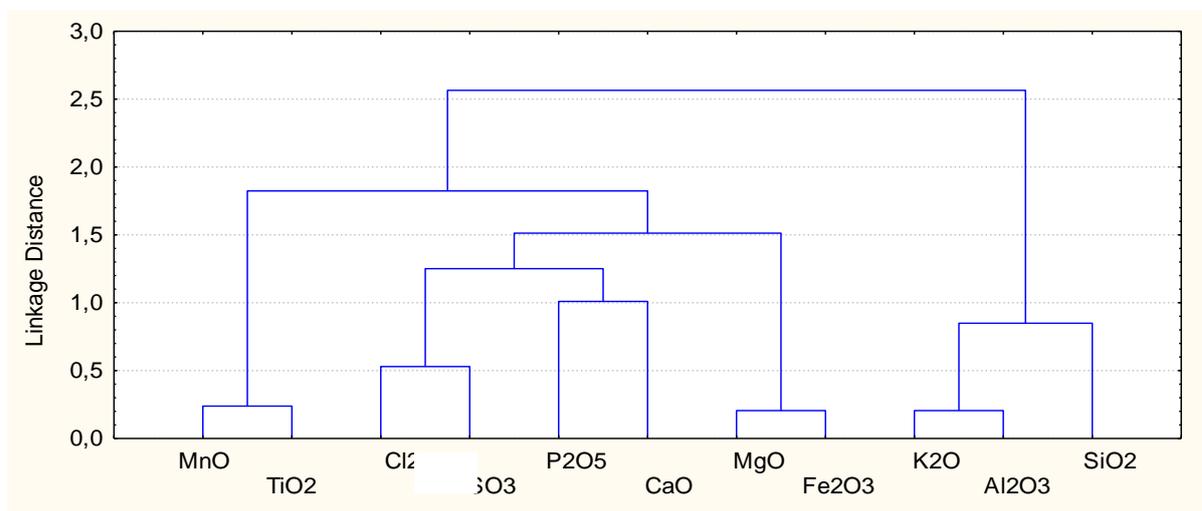


Рисунок 21 - Дендрограмма кластер-анализа взаимосвязи химических элементов в почвах г. Перми, n = 122

Кластер SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-K<sub>2</sub>O характеризует их совместное нахождение в составе глинистых минералов, гидрослюд, по-

левых шпатов. Кластер  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  отражает их концентрацию в составе магниевых ферритов и хлоритов. С высоким уровнем сходства объединены в кластер  $\text{MnO}$  и  $\text{TiO}_2$ , что возможно, связано с обогащением этими элементами торфа ( $\text{MnO}$ ) и песка ( $\text{TiO}_2$ ) смесей для рекультивации газонов. Парагенез  $\text{Cl}$  и  $\text{SO}_3$  является следствием их техногенного происхождения.

При снижении уровня сходства в один кластер объединяются  $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SO}_3\text{-Cl}$ . С этим кластером близко связан кластер  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$ . Кластер  $\text{CaO}$  с  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Cl}$ , отражает закрепление анионов в составе антигололедных смесей на основе солей кальция [105].

Таким образом, профильное и пространственное распределение почвообразующих, серы и хлора в почвенном покрове г. Перми зависит не только от почвенно-геологических условий территории, но и от степени антропогенного воздействия на почвы. В поверхностных горизонтах почв селитебно-транспортной части города происходит аккумуляция  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Cl}$ . В большей степени этот процесс проявляется в почвах придорожных территорий городских улиц.

## **5.2 Тяжелые металлы и мышьяк**

Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова проведена по четырем показателям. Первые три оценивают валовое содержание микроэлементов, а четвертый – их подвижные формы.

### **5.2.1 Профильное распределение тяжелых металлов и мышьяка**

Профильное распределение ТМ и  $\text{As}$  оценено по трем критериям: а) коэффициент дифференциации ( $K_d$ ), б) оценка концентрации, в) профильная техногенность ( $T_p$ , %).

*Коэффициент дифференциации ( $K_d$ )* ТМ выполнен по А.И. Перельману [180]. Профильное распределение ТМ с из-

вестным классом опасности (Zn, As, Pb, Ni, Cu, Cr) в почвах г. Перми зависит от генезиса почв и степени техногенного воздействия на почвенный покров (табл. 26).

При оценке Кд ТМ в урбаноземе, на наш взгляд, необходимо рассчитывать Кд как средневзвешенную величину и относительно фоновых значений, так как в синлитогенных почвах геохимически единая с почвой материнская порода в профиле урбаноземов отсутствует. Расчеты показали, что Кд для Rb, Y, Zr, Ga, Nb, La, Ce меньше 1,0 в урбо-дерново-подзолистых почвах (разр. 1, 2), урбаноземах маломощном, среднемощном и мощном (разр. 4, 5, 7). В агроземе (разр. 3), серогумусовой почве (разр. 8) и урбаноземе мелком (разр. 6) выявлено накопление этих элементов в поверхностных горизонтах ( $K_d > 1,0$ ). Коэффициенты профильной дифференциации для Zn, As, Pb, Ni, Cu в основном больше единицы. Так, Кд Pb и Cu в урбо-дерново-подзолистой почве (разр. 1) достигают 45 и 6,2 единицы, соответственно; Кд Zn в агроземе (разр. 3) – 11,5; Кд As и Ni в урбаноземе мелком (разр. 6) – 7,9 и 3,3, соответственно.

*Оценка концентрации.* Содержание ТМ (Zn, As, Pb, Ni, Cu) в основном превышает кларковые значения по всему профилю изученных разрезов. Результаты нормирования содержания ТМ по значению регионального фона показали, что концентрации ТМ 1-3 класса опасности в гор. U, AY, BT превышают фоновые значения (рис. 22). Коэффициент концентрации относительно регионального фона  $K_{фр}$  для Cr меньше единицы.

Таблица 25 - Оценка профильного распределения (Кд) и содержания ТМ и As (мг/кг) в почвах г. Перми

Горизонт, глубина, см	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ba	Ga	Rb	Y	Zr	Nb	La	Ce
Разрез 1. Урбо-дерново-подзолистая, ул. 25 Октября, 47																
U <sub>1</sub> 0-14	528	7	180	315	218	312	923	188	499	9	39	15	205	-	16	27
U <sub>2</sub> 16-26	97	н.п.о	51	123	48	76	852	208	394	11	38	11	147	-	18	30
B <sub>1</sub> 40-50	122	6	8	185	63	64	930	209	453	26	65	29	297	-	31	54
B <sub>1</sub> 60-70	79	н.п.о	15	185	74	64	1007	223	454	19	69	22	283	-	31	51
B <sub>2</sub> 90-100	65	6	н.п.о	233	70	58	852	208	433	18	59	18	274	-	28	49
B <sub>2</sub> 140-150	71	10	н.п.о	253	86	50	930	202	435	17	70	28	307	-	31	51
К <sub>д</sub>	<b>7,4</b>	<b>0,7</b>	<b>45,0</b>	<b>1,2</b>	<b>2,5</b>	<b>6,2</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Разрез 2. Урбо-дерново-подзолистая, сквер «Чкаловский»																
PY 0-24	124	9	33	116	172	79	1317	218	530	5	64	29	341	13	26	41
PYEL 24-35	93	н.п.о	33	75	58	44	1240	225	546	14	69	26	345	18	26	44
EL 35-43	67	н.п.о	25	137	34	21	1394	222	522	17	81	31	365	16	21	49
BEL 43-53	60	5	18	75	54	34	852	222	487	8	75	26	362	17	26	49
BT <sub>1</sub> 65-75	68	н.п.о	17	89	51	52	775	208	447	14	79	29	332	17	26	47
BT <sub>2</sub> 100-110	80	8	17	130	67	53	1085	196	437	17	80	34	336	17	26	49
BT <sub>2</sub> C 130-140	77	9	11	116	66	45	1085	199	436	14	75	36	307	16	33	52
C 148-158	76	10	16	123	89	46	1162	194	447	15	74	33	332	16	32	57
К <sub>д</sub>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>2,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,9</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>
Разрез 3. Агрозем, ул. Борцов революции, 107																
P 0-30	230	9	40	178	36	75	1317	224	-	16	46	21	158	12	-	-
PBFM 30-40	96	6	21	62	44	37	697	263	-	5	39	16	170	9	-	-
BFM 45-55	39	н.п.о	5	41	20	22	387	222	-	6	29	12	101	7	-	-
BFM C 60-70	42	н.п.о	7	14	17	13	310	238	-	10	28	12	122	н.п.о	-	-
C 85-95	20	4	-	55	17	20	232	234	-	6	29	11	132	н.п.о	-	-
К <sub>д</sub>	<b>11,5</b>	<b>2,25</b>	<b>10</b>	<b>3,2</b>	<b>2,1</b>	<b>3,8</b>	<b>5,7</b>	<b>1,0</b>	-	<b>2,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>1,2</b>			

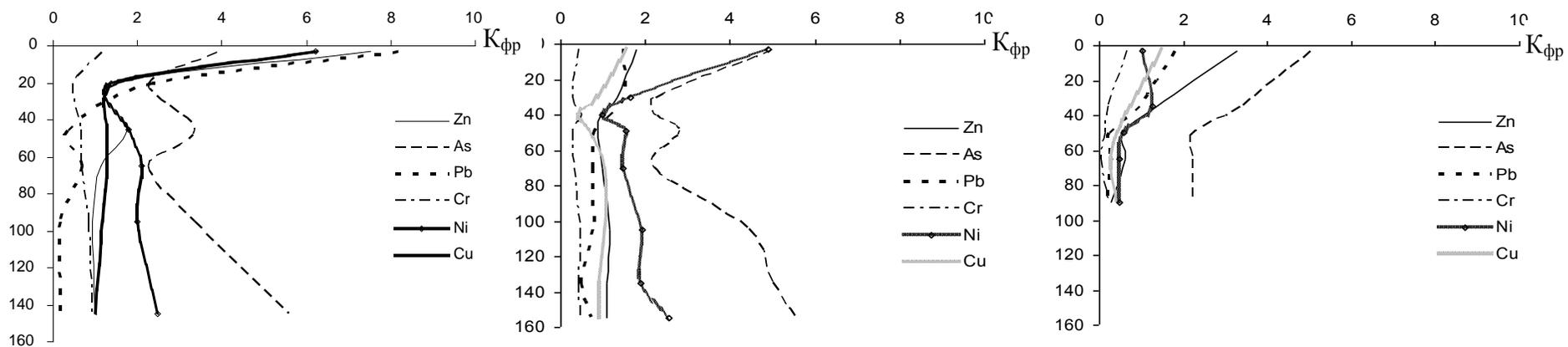
Продолжение таблицы 25

Горизонт, глубина, см	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ba	Ga	Rb	Y	Zr	Nb	La	Ce
Разрез 4. Урбанозем маломощный, Шоссе Космонавтов, 108																
U <sub>1</sub> 0-5	82	7	25	48	40	29	465	229	-	-	35	14	176	н.п.о	-	-
U <sub>1</sub> 5-20	141	7	40	82	85	29	465	202	-	10	29	15	132	4	-	-
U <sub>2</sub> 30-40	72	8	28	103	45	31	465	207	-	12	31	14	199	5	-	-
U <sub>3</sub> 50-60	45	н.п.о	11	27	26	18	542	264	-	7	40	14	137	6	-	-
U <sub>4</sub> 70-80	74	11	86	68	28	35	310	211	-	8	26	15	108	4	-	-
U <sub>5</sub> 85-95	26	н.п.о	6	34	10	23	387	253	-	6	35	11	117	н.п.о	-	-
К <sub>д.ср.вз</sub>	<b>1,5</b>	<b>3,8</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>1,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>2,8</b>		<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	-		
Разрез 5. Урбанозем мощный, ул. Советская, 13																
U <sub>2</sub> 80-90	350	16	131	82	31	108	682	208	-	9	37	22	138	8	-	-
U <sub>3</sub> 130-140	171	4	124	62	30	140	1704	229	-	10	44	19	137	11	-	-
U <sub>4</sub> 190-200	106	н.п.о	11	75	11	142	620	243	-	10	46	11	133	6	-	-
U <sub>5</sub> 240-250	51	н.п.о	12	27	19	23	232	224	-	11	37	12	144	5	-	-
К <sub>д.ср.вз</sub>	<b>3,4</b>	<b>4,7</b>	<b>5,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,9</b>	<b>2,6</b>	<b>1,5</b>	<b>3,2</b>	-	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>		
Разрез 6. Урбанозем мелкий, ул. Куйбышева, 147																
U 0-12	150	13	54	205	86	161	2402	219	-	8	35	18	182	9	-	-
UB 17-27	74	10	16	137	89	44	1085	221	-	25	65	29	283	16	-	-
К <sub>д.ср.вз</sub>	<b>1,9</b>	<b>7,9</b>	<b>1,7</b>	<b>0,7</b>	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>	<b>2,2</b>	<b>4,1</b>		<b>1,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>		
Разрез 7. Урбанозем среднемощный, ул. Пермская, 7а																
U <sub>1</sub> 0-10	132	12	99	34	40	142	697	217	-	10	34	18	145	6	-	-
U <sub>2</sub> 10-20	130	6	64	55	38	110	697	189	-	11	31	18	119	7	-	-
U <sub>3</sub> 30-40	270	18	107	123	33	182	620	221	-	16	35	19	162	8	-	-
U <sub>4</sub> 45-55	136	8	129	103	42	161	697	231	-	12	39	23	151	6	-	-
U <sub>5</sub> 60-70	66	4	61	41	15	55	465	228	-	11	33	14	126	4	-	-
К <sub>д.ср.вз.</sub>	<b>2,7</b>	<b>6,7</b>	<b>4,9</b>	<b>0,3</b>	<b>1,1</b>	<b>3,2</b>	<b>0,8</b>	<b>3,3</b>		<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>		

## Окончание таблицы 25

Горизонт, глубина, см	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ba	Ga	Rb	Y	Zr	Nb	La	Ce
Разрез 8. Серогумусовая, ООПТ Липовая гора																
РУ 0-15	124	12	16	68	65	56	1255	240	-	12	52	20	205	7	-	-
РУВТ 15-22	78	н.п.о	10	62	96	41	1278	265	-	19	48	20	151	9	-	-
ВТ <sub>1</sub> 30-40	80	12	10	62	101	65	992	284	-	17	48	24	151	9	-	-
ВТ <sub>2</sub> 60-70	79	11	н.п.о	103	96	44	1232	318	-	17	42	23	142	6	-	-
ВТС 90-100	84	9	8	82	75	67	930	323	-	21	43	19	138	5	-	-
С 110-120	58	8	7	48	122	49	2378	388	-	18	38	37	123	8	-	-
Кд	<b>2,1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>1,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>		<b>0,7</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,5</b>		
<i>Фон рег.</i>	70	1,8*	22	280	35	50	900	70	300	13	53*	20	350	14	-	39*
<i>Почвы мира</i>	50	5	10	70	40	20	850	300	500	30	100	40	300	-	40	50
<i>ПДК</i>	100	2	32	100**	85	55	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-

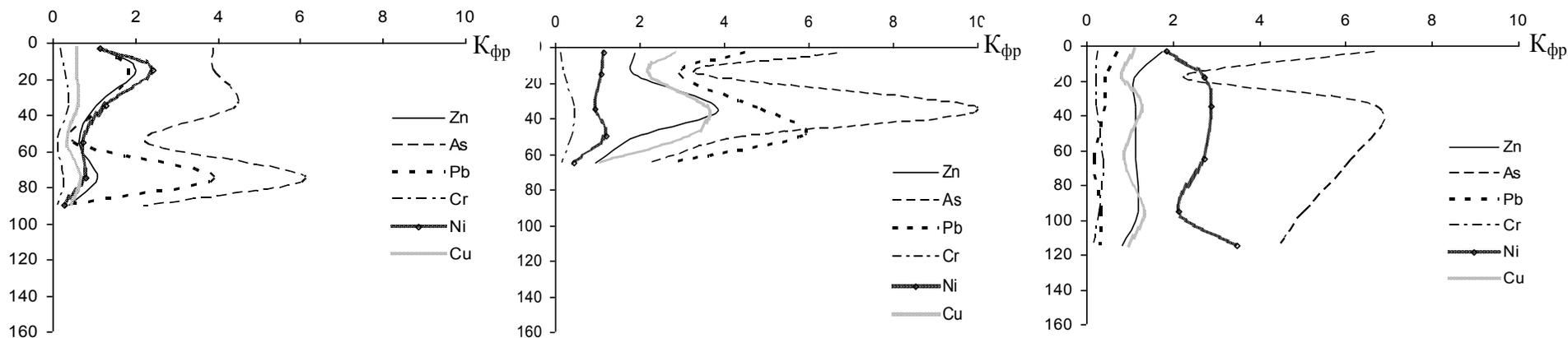
\* - эталонная почва; \*\* - по данным М.С. Панина [177] и др., н.п.о – ниже порога определения, «-» - данные отсутствуют



Разрез 1. Урбо-дерново-подзолистая,  
ул. 25 Октября, 47

Разрез 2. Урбо-дерново-подзолистая,  
сквер «Чкаловский»

Разрез 3. Агрозем,  
ул. Борцов Революции, 107



Разрез 4. Урбанозем маломощный,  
Шоссе Космонавтов, 108

Разрез 7. Урбанозем среднемощный,  
ул. Пермская, 7а

Разрез 8. Серогумусовая,  
ООПТ Липовая гора

Рисунок 22 - Профильное распределение ТМ, As в почвах г. Перми,  $K_{фр} = C_i / C_{ф}$  относительно регионального фона

Необходимо сделать следующее пояснение о региональном фоне Cr. При расчете среднего содержания Cr и других ТМ в верхнем слое 0-10 см почв Пермского края И.С. Копылов [123] использовал результаты химического анализа образцов, отобранных на всей территории региона, в том числе с урбанизированных территорий и природных аномалий. Генеральная совокупность (n=1720) в расчетах И.С. Копылова включает результаты анализа образцов почв крупной хромовой аномалии на востоке Пермского края и почв промышленных городов края, что существенно завышает значение регионального фона по хрому.

В урбо-дерново-подзолистой почве (разр. 1) концентрация ряда ТМ превышает ПДК: по Cu – в 5,6 раз, Pb – в 5,5, Zn – в 5,2, As – в 3,5 Ni – в 2,5 (табл. 25). В урбо-дерново-подзолистой почве сквера «Чкаловский» (разр. 2) содержание As выше ПДК в 4,5 раза, Cu – в 1,4, Zn – в 1,2, Ni – в 2,0 раза. В средней и нижней частях профиля содержание этих ТМ не превышает ПДК [39].

В урбаноземах профильное распределение ТМ более сложное. Так, содержание Zn, As, Pb, Cu, Cr в урбаноземе маломощном (разр. 4) максимально на глубине 5-20 см, а в урбаноземе среднемощном (разр. 7) – на глубине 30-55 см. Коэффициент опасности (Ko) составляет для Zn – 1,4-2,7, As – 9-5,5, Pb – 3,3-4, Cu – 2,9-3,3. В агроземе песчаном аккумуляция ТМ происходит только до глубины 40 см. В гор. Р Ко составляет для Zn – 3,8; Cu – 1,5; Pb – 1,3.

В лесной серогумусовой тяжелосуглинистой почве содержание Zn в поверхностном горизонте АУ высокое (1,2 ПДК). На глубине 100-120 см концентрация Ni, Cu превышает ПДК в 1,4, 1,2, соответственно. Почвообразующая порода серогумусовой почвы – элювий пермских глин, обогащена ТМ [257].

*Профильная техногенность (Тп, %) рассчитана по формуле S. Baron [270]:*

$$T_{п}, \% = 100 \times (\text{ПОП} - 1) : \text{ПОП} \quad (4)$$

$$\text{ПОП} = (\text{Me}_A : \text{Al}_A) : (\text{Me}_C : \text{Al}_C), \quad (5)$$

где ПОП – показатель обогащения ТМ;  $\text{Me}_A$ ,  $\text{Me}_C$  – валовое содержание данного ТМ в верхнем горизонте и почвообразующей породе,  $\text{Al}_A$ ,  $\text{Al}_C$  – валовое содержание алюминия в верхнем горизонте и почвообразующей породе.

Высокая техногенность установлена для Pb (79-99 % в трех разрезах), Zn (90-92 % в двух разрезах), Ni (77-78 % в двух разрезах), Cu (91% в одном разрезе) (табл. 26). Это наиболее техногенные металлы в почвах центральной части города. Средняя техногенность установлена для Cr (52-63 % в двух разрезах) и Ga (55 % в одном разрезе) [41]. Техногенность As, Y, Zr, Sr, Rb, Ba, La и Ce на профильном уровне низкая и недостоверная.

Таблица 26 - Профильная техногенность ( $T_{п}$ ) ТМ и As в почвах г. Перми, %

Почва	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ba	Ga	Rb	Y	Zr	La	Ce
Разр. 1. Урбо-дерново-подзол, ул. 25 Октября, 47	92	н	99	52	77	91	н	н	-	н	н	н	н	-	-
Разр. 2. Урбо-дерново-подзол, сквер «Чкаловский»	55	н	64	н	62	57	н	н	н	н	н	н	н	н	н
Разр. 3. Агрозем, ул. Борцов Революции, 107	90	н	88	63	н	68	78	н	н	55	н	н	н	н	н
Разр. 4. Урбанозем мало-мощный, Шоссе Космонавтов, 108	72	н	79	н	78	н	н	н	-	н	н	н	н	-	-

Н – низкая и недостоверная техногенность,  $T_{п} < 50\%$ ; «-» данные отсутствуют

Наиболее высока техногенность металлов в почвах газонов на ул. 25 Октября, где доля техногенного Ni достигает 75, Cu и Zn – 91-92, а Pb – 99%.

Профильная техногенность изученных ТМ и As в почвах Перми образует ряд:  $Pb > Zn = Cu > Ni > Mn > Cr > Ga > Sr = As = Y = Zr = Rb = Ba = La = Ce$  [41]. В крупных городах России наиболее сильно накапливаются следующие техногенные элементы: Cd, Pb, Zn, Си и As, в порядке убывания [180]. Из наших данных следует, что в г. Перми доминирует свинцово-цинко-медно-никелевое загрязнение. Содержание кадмия в почвах города нами не определялось.

### **5.2.2 Территориальное распределение тяжелых металлов и мышьяка**

Территориальное распределение оценивалось по четырем критериям: а) оценка концентрации относительно установленных значений (кларк, фон, эталон, реперные участки) и анализ геохимическим рядов аккумуляции-рассеивания, б) техногенность ТМ и As относительно фона (Тф, %), в) суммарные показатели загрязнения, г) картографический анализ пространственной распределения ТМ.

*Оценка концентрации и анализ геохимических рядов аккумуляции-рассеивания.* Оценка аккумуляции-рассеивания ТМ и As была проведена по коэффициентам концентрации  $K_k$ , путем сравнения содержания элемента в изученном образце или среднеарифметического содержания в выборке образцов с рядом установленных показателей:  $K_{k_m}$  – кларк почв мира [31];  $K_{k_e}$  – кларк почв Европы [271];  $K_{k_{фр}}$  – региональный фон [123];  $K_{k_{уф}}$  – условный местный фон [58],  $K_{k_{эт}}$  – содержание элементов в эталонных подзолистых почвах лесных ландшафтов Пермского края [48],  $K_{k_{реп}}$  – среднее содержание ТМ в почвах 15 реперных участков ФГУП ГЦАС Пермский [218],  $K_o$  – ПДК [207]. Для валового содержания Cr было принято ПДК 100 мг/кг [177, 40].

Статистические параметры содержания ТМ свидетельствуют о высокой неоднородности их распределения в почвенном покрове г. Перми (табл. 27).

Таблица 27 - Статистические показатели содержания ТМ и As (мг/кг) в почвах г. Перми, n=122

	$M_{\pm m}$	$\sigma$	lim	V, %	Mo	Md	Почвы мира	Почвы Европы	Фон регион.	Эталон	Реперные участки n=15	ПДК
Zn	141,7±64,1	84,1	19-528	59	97	114	50	52	70	63	45,6	100
As	8,1±3,1	4,3	4-24	52	5	7	5	7,1	0	1,8	0,37	2
Pb	59,4±43,1	83,8	4-630	141	17	36	10	22,6	22	21,5	25,9	32
Cr	162,7±105,9	352,9	7-3777	217	103	116	70	60	280	90	-	100
Ni	131,0±88,1	185,6	10-1907	142	52	86	40	18	35	18	-	85
Cu	99,4±69,6	172,3	10-1309	173	69	69	20	13	50	33	14,7	55
Mn	729,6±228,1	412,4	139-3874	57	775	697	850	504	900	273	-	1500
Sr	192,1±29,9	41,6	70-320	22	180	194	300	89	70	138	-	-
Ga	9,8±3,5	4,5	4-25	46	6	9	30	13,5	13	-	-	-
Rb	34,9±10,1	12,7	11-65	37	36	34	100	80	-	53	-	-
Y	15,1±4,0	5,3	5-31	35	13	14	40	21	20	10	-	-
Zr	144,2±53,4	68,2	12-341	47	116	123	300	231	350	143	-	-
Nb	8,0±2,3	3,0	4-16	37	6	7	-	9,7	14	-	-	-
La*	20±4,7	6	12-31	28	17	18	40	23,5	-	-	-	
Ba*	401±71,4	86	292-627	21	329	377	500	345	300	360	-	
Ce*	30±9,5	11	18-51	37	24	27	50	48,2	-	39	-	

\* n=30; - означает, что данные отсутствуют

Обращает внимание очень высокая вариабельность Sr, Cu, Ni, Pb при их значительном содержании. Очевидно, что эти элементы являются активными загрязнителями почв города. Средняя концентрация Zn, As, Pb, Ni, Cu, Sr в почвах г. Перми выше, чем региональный фон, и их содержание в эталонных почвах и почвах реперных участков ФГУП ГЦАС Пермский. Коэффициент опасности (Ko) относительно средних и медианных значений для Zn, As, Pb, Sr, Ni и Cu больше единицы. Модальные значения As, Sr и Cu также превышают ПДК, а мода Zn близка к ПДК.

Содержание Sr, Ga, Rb, Y, Zr, Nb характеризуется низкой вариабельностью. Средние и медианные значения концентрации этих элементов ниже, чем кларк для почв мира и Европы.

На основании данных таблицы 27 составлены геохимические ряды аккумуляции-рассеивания ТМ для поверхностных горизонтов почв г. Перми (табл. 28).

Таблица 28 - Геохимические ряды аккумуляции-рассеивания ТМ и As для почв г. Перми, n=122

	Значения коэффициентов Kк и Ko для отдельных элементов
Kк <sub>м</sub>	Pb5,9 > Cu5,0 > Ni3,3 > Zn2,8 > Cr2,3 > As1,6 > Mn0,9 > Ba0,8 > Sr0,6 = Ce0,6 > Zr0,5 = La0,5 > Rb0,4 = Y0,4 > Ga0,3
Kк <sub>е</sub>	Cu7,6 > Ni7,3 > Zn2,7 = Cr2,7 > Pb2,6 > Sr2,2 > Ba1,6 > Mn1,4 > As1,1 > La0,85 > Nb0,8 > Ga0,7 = Y0,7 > Zr0,6 = Ce0,6 > Rb0,4
Kк <sub>фр</sub>	Ni3,7 > Pb2,7 = Sr2,7 > Zn2,0 = Cu2,0 > Ba1,3 > Mn0,8 = Ga0,8 = Y0,8 > Cr0,6 = Nb0,6 > Zr0,4
Kк <sub>эт</sub>	Ni7,3 > As4,5 > Cu3,0 > Pb2,8 > Mn2,7 > Zn2,4 > Cr1,8 > Y1,5 > Sr1,4 > Ba1,1 > Zr1,0 > Ce0,8 > Rb0,7
Kк <sub>реп</sub>	As21,9 > Cu6,8 > Zn3,1 > Pb2,3
Ko	As4,1 > Pb1,9 > Cu1,8 > Cr1,6 > Ni1,5 > Zn1,3 > Mn0,5

Изученные элементы 1-3 класса опасности во всех геохимических рядах имеют коэффициенты концентрации (Kк) более единицы. Наиболее высокие Kк и Ko характерны для Ni, Pb, Cu, As, Zn и Sr, которые следует рассматривать как

приоритетные поллютанты в почвенном покрове города. Региональная фоновая концентрация для Cr очень высокая, и по установленным  $K_{кфр}$  этот элемент относится к рассеянным. В загрязнении почвенного покрова г. Перми Rb, Y, Zr, Nb, La, Ce не участвуют. Их содержание ниже кларка и фона, а техногенность меньше 50%.

Часть почвенного покрова г. Перми оценивается категорией загрязнения «опасная», так как содержание As, Pb, Cu, Ni, Zn в почвах превышает ПДК [207]. Загрязнение почв г. Перми Pb, Cu, Zn [47, 86], Ni [47] было установлено ранее. По нашим данным, уровень загрязнения Ni части почвенного покрова г. Перми опасный и это представляет серьезную угрозу для горожан, так как почвы городов активно участвуют в формировании химического состава приземного слоя воздуха [13, 233].

Концентрация Ni в биосредах жителей г. Перми высокая. Так, Т.П. Голдырева [65] установила, что в период с 1960 по 2002 гг. в щитовидной взрослому населения г. Перми произошло увеличение содержания Ni в 56 раз. Кроме выбросов машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий, одним из основных источников техногенного Ni на территории города являются предприятия нефтепереработки и нефтехимии. В г. Перми они функционируют с 1959 г [265]. Никель концентрируется в продуктах переработки нефти, относящихся к тяжелым фракциям. Сжигание дизельного топлива в двигателях автотранспорта, сжигание мазута на ТЭЦ-9, производство и использование асфальта, битума в дорожном строительстве загрязняет почвы города Ni. Ежегодно на ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» перерабатывается свыше 12 млн. т. нефти, что сопровождается, по оценке С.П. Якуцени [265], ежегодным рассеиванием в окружающую среду огромного количества никеля – 400 т. Очевидно, что значительная часть Ni оседает в поверхностном слое почв города. Высокая концентрация Ni в почвах Индустриального

района г. Перми, где расположен ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», подтверждена в сводке И.С. Копылова [124].

Для объективной оценки содержания поллютантов в почвах г. Перми, нами впервые были установлены границы центильных интервалов концентрации ТМ и As для почвенного покрова г. Перми (табл. 29).

Таблица 29 - Градации центильных интервалов концентрации ТМ и As в почвах г. Перми, n=122

Хим. элемент	Номер группы, градации центильных интервалов и концентрации элементов, мг/кг						
	1 Очень низкая <5 %	2 Низкая 5-10 %	3 Ниже среднего 10-25 %	4 Среднее («норма») 25-75 %	5 Выше среднего 75-90 %	6 Высокая 90-95 %	7 Очень высокая >95 %
Zn	<52	52-65	65-84	84-180	180-264	264-295	> 295
As	<4	4-4,5	4,5-5	5-9	9-14	14-19	>19
Pb	< 10	10-13	13-20	20-65	65-104,5	104,5-133	>133
Cr	< 21	21-41	41-68	68-164	164-212	212-315	>315
Ni	< 25	25-35	35-51	51-151	151-238	238-308	>308
Cu	< 23	23-29	29-43	43-86	86-141	141-186	>186
Mn	<232	232-310	310-542	542-825	825-1007	1007-1240	>1240
Sr	<135	135-145	145-171	171-215	215-234	234-249	>249

Верхние границы центильного интервала «норма» и интервалы в группах 5, 6, 7 для основных поллютантов почв города характеризуются превышением ПДК. По сравнению с почвами сельскохозяйственных угодий Пермского края средняя концентрация As в почвенном покрове Перми более чем в 20 раз выше. Региональное фоновое значение концентрации As в гумусовых горизонтах (0-10 см) для выборки n=1730 равно нулю [123]. Это можно объяснить низкой чувствительностью полуколичественного метода анализа, использованного для оценки фона в сводных данных И.С. Копылова [123]. Чувствительность современного метода РФА, который был нами применен, значительно выше и для As он составляет 4 мг/кг почвы.

Во всех функциональных зонах города концентрация приоритетных загрязнителей превышает фоновые значения, при этом кратность превышения выше в почвах придорожных территорий (ПД), чем в почвах рекреационных (ПР) и внутриквартальных территорий (ПК) (рис. 23).

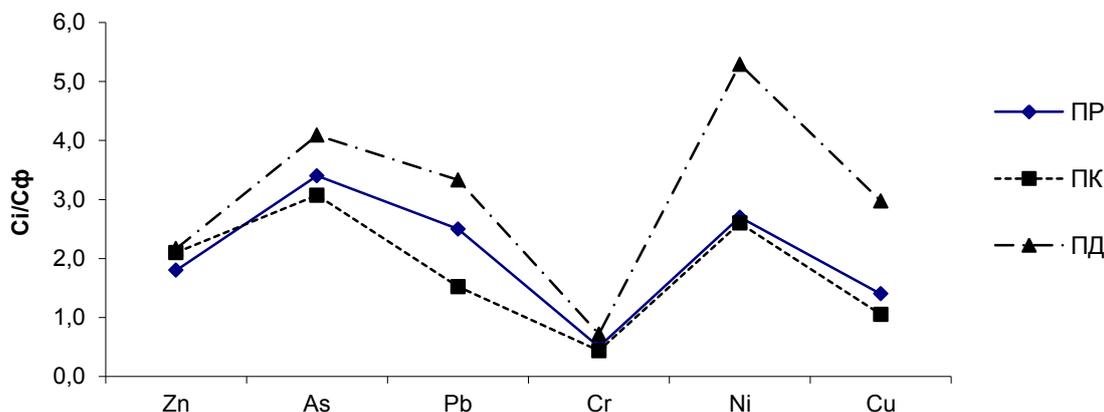


Рисунок 23 - Кратность превышения региональных фоновых концентраций ТМ и As в почвах функциональных зон г. Перми

Валовое содержание Zn, Pb, As, Cr, Ni и Cu выше в поверхностных горизонтах почв придорожных территорий (ПД), чем в почвах бульваров, скверов (ПР) и внутриквартальных территорий (ПК). В почвах придорожной части улиц концентрация Zn превышает ПДК в 1,5; Pb – в 2,3, Ni – в 2,2 и Cu – в 2,7 раза (рис. 24).

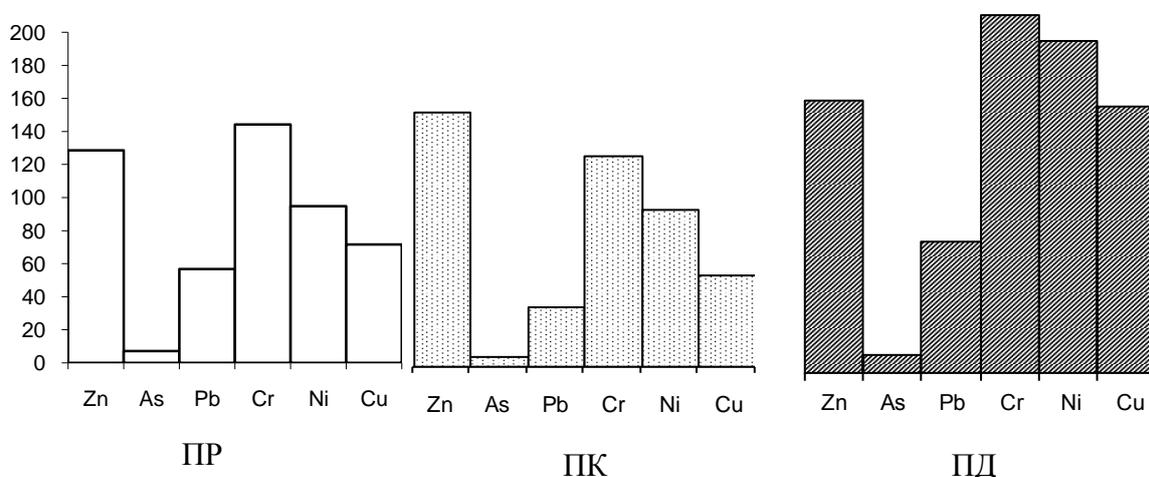


Рисунок 24 - Валовое содержание ТМ и As в почвах функциональных зон г. Перми

Достоверные различия концентрации ТМ в почвах функциональных зон установлены для As, Ni в парах сравнения ПД - ПР и ПД - ПК. Содержание Pb достоверно выше в почвах придорожных и рекреационных территорий. Для Cu установлены достоверные различия между почвами всех функциональных зон. Содержание Zn и Cr в почвенном покрове функциональных зон не отличается (табл. 30).

Таблица 30 - Оценка по t-критерию Стьюдента разницы содержания ТМ и As в почвах функциональных зон г. Перми

ТМ	Разница средних в парах сравнения			t факт для пар сравнения		
	ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК	ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК
Zn	-18,5	23,5	5	0,93	1,4	0,22
As	0,74	3,09	3,83	1,0	3,51*	3,72*
Pb	21,8	16,5	38,3	3,23*	0,92	2,12*
Cr	22	56	78	0,44	0,75	0,88
Ni	3,8	90,3	94,1	0,22	2,29*	2,28*
Cu	19,1	77,4	96,5	2,92*	2,08*	2,59*

\* – при P=0,95

Ряд исследователей, указывают на техногенность Ba, La и Ce в условиях промышленных городов [89, 248]. Валовое содержание La, Ba и Ce определено радиометрическим методом на приборе Tefa-6111 в лаборатории химии почв ГНУ Почвенного института им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии в 40 образцах. В поверхностных горизонтах почв г. Перми содержание Ba ниже кларка для почв мира, но выше фона (табл. 31).

Максимальная концентрация Ba установлена в почвах сквера «Чкаловский», расположенного вблизи ТЭЦ-6 и крупного завода по производству авиадвигателей – ООО «Пермские моторы». Высокая концентрация этих элементов в урбо-дерново-подзолистой почве по ул. 25 Октября. Но проявляется локальное загрязнение в урбо-дерново-подзолистой почве сквера «Чкаловский», где среднее содержание Ce выше. В урбаноземах по Шоссе Космонавтов и на Комсомольском

проспекте содержание La и Ce несколько меньше, чем во всей выборке образцов, что вероятно связано с низким содержанием этих элементов в минеральном субстрате гор. У.

Таблица 31 - Содержание Ba, La, Ce (мг/кг) в почвах г. Перми, n=40

Место отбора образца	Ba	La	Ce
Сквер Чкаловский	455±76	25±6	41±10
Сквер 250-летия Перми	312±28	18,5±2	25,5±2
Бульвар по Комсомольскому проспекту	338±20	15±3	20±2
Сквер Театральный	383±18	20±4	26±3
Ул. 25 Октября,	457±123	22±6	32±6
Ул. Ш. Космонавтов,	355±45	16±1	20±2
Почвы мира	500	40	50
Почвы Европы	375	23,5	48,2
Фон рег.	300	-	39

- данные отсутствуют

*Техногенность ТМ и As относительно фона (Тф, %)* рассчитана по формуле:

$$Тф, \% = 100 \times (\text{ПОП} - 1) : \text{ПОП} \quad (6)$$

$$\text{ПОП} = (\text{Me}_A : \text{Al}_A) : (\text{Me}_Ф : \text{Al}_Ф), \quad (7)$$

где ПОП – показатель обогащения ТМ; Me<sub>A</sub>, Me<sub>Ф</sub>, – валовое содержание данного ТМ в верхнем горизонте и его фоновое содержание, Al<sub>A</sub>, Al<sub>Ф</sub> – валовое содержание алюминия в верхнем горизонте и его фоновое содержание по данным В.Ю. Гилева [58] и И.С. Копылова [123].

В почвах г. Перми высокая техногенность ТМ относительно фона (Тф) нами была установлена для As, Ni, Sr, Pb, Zn и Cu. Для почв функциональных зон г. Перми ряды техногенности показаны в таблице 32. В почвенном покрове функциональных зон города ряды техногенности имеют некоторые отличия. На придорожных территориях техногенность As, Ni, Sr, Cr, Cu, Mn выше, чем в пределах рекреационных и внутриквартальных территорий. Наиболее высокая техногенность Pb в почвах придорожных территорий. Техногенность Zn одинаковая в почвах всех функциональных зон.

Рассеянные (Y, Rb, Ga) элементы в почвах г. Перми, по нашим расчетам, являются техногенными. По оценке С.П. Якуцени [265], Rb и Y относятся к умеренно токсичным элементами, и их техногенность проявляется как результат переработки и сжигания углеводородного сырья на нефтеперерабатывающих предприятиях, объектах нефтехимии и ТЭЦ-9.

Таблица 32. Ряды техногенности ТМ и As в почвах функциональных зон г. Перми

ФЗ	Ряды техногенности
ПР	As85 > Sr79 > Pb77 > Ni74 > Zn73 > Cr69 > Cu67 > Ga58 > Mn57 > Y55 = Rb55 > Zr
ПК	As82 > Sr 79> Ni 75 > Zn73 > Cr72 > Cu65 >Pb60 > Ga 57 > Mn56 > Y = Rb = Zr
ПД	As89 > Ni 81 = Sr 81 > Cu74= Cr74 > Pb71 > Zn 73> Mn 64> Ga 63 Rb 53> Y52> Zr

*Суммарные показатели загрязнения.* По шкале опасности загрязнения в почвах всех функциональных зон города средний суммарный показатель загрязнения (Zc) по Саету [206], характеризуется категорией «допустимая»,  $Zc > 16$  [153]. Для суммы коэффициентов опасности ( $\sum Ko$ ) шкала не разработана, но в почвах придорожных территорий  $\sum Ko_{вал}$  и  $\sum Ko_{подв}$  достоверно выше, чем в почвах других функциональных зон города (табл. 33, 34).

Таблица 33 - Статистические параметры суммарных показателей загрязнения (СПЗ) почв функциональных зон г. Перми

ФЗ	СПЗ	n	M±m	σ	lim	V, %
ПР	Zc	48	9,8±2,9	4,1	2,1-25,0	41
	$\sum Ko_{вал}$	48	9,4±2,4	3,5	1,1-22,2	37
	$\sum Ko_{подв}$	9	2,3±0,5	0,6	1,8-3,4	26
ПК	Zc	24	8,3±3,5	4,5	3,0-21,4	54
	$\sum Ko_{вал}$	24	7,8±3,4	4,6	2,5-21,	59
	$\sum Ko_{подв}$	5	4,5±0,9	1,0	3,3-5,5	22
ПД	Zc	50	15,6±10,6	17,0	1,0-94,9	109
	$\sum Ko_{вал}$	50	13,5±8,8	14,6	1,4-84,9	109
	$\sum Ko_{подв}$	13	5,4±2,9	3,5	1,7-13,6	65

Таблица 34 - Оценка различий СПЗ токсичными элементами поверхностного горизонта почв функциональных зон г. Перми по t-критерию Стьюдента

СПЗ	Разница средних			t факт для пар сравнения		
	ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК	ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК
Zc	1,5	5,8	7,3	1,8	3,7*	4,4*
∑ Ко вал.	1,6	4,9	5,7	2,2*	3,2*	4,2*

*Картографический анализ пространственного распределения ТМ.* Для построения картосхем была использована шкала центильных интервалов концентрации ТМ. Высокие концентрации Ni наблюдаются в почвах на территориях, прилегающих к ОАО «Мотовилихинские заводы», Осенцовскому промышленному узлу и на ул. Куйбышева с высокой интенсивностью автотранспорта. Ареалы почв с высоким и очень высоким содержанием Ni занимают 13% площади территории города (рис. 25). Площади почв со средней и ниже средней концентрациями Ni составляют 34 и 20%, соответственно. Низкое содержание Ni выявлено в почвах Черняевского леса и ПКиО Кировского района, в почвах микрорайона Окуловский.

Основные площади почвенного покрова территории города представлены почвами со средним – 21% и ниже среднего – 49% содержанием Zn (рис. 26). Площади с высоким и очень высоким содержанием Zn составляют 2-3% и приурочены к зонам выбросов промышленных предприятий города.

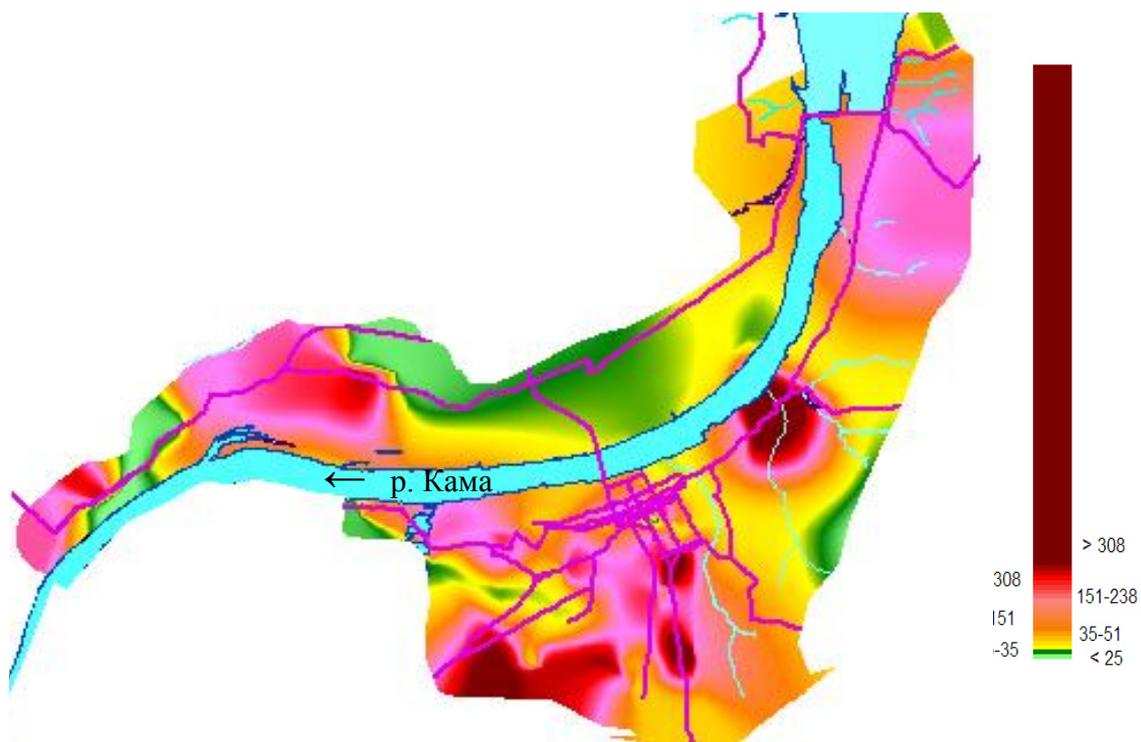


Рисунок 25 - Картограмма пространственного распределения Ni в поверхностных горизонтах (U, A<sub>1ur</sub>, A<sub>2</sub>, P) почв г. Перми, мг/кг

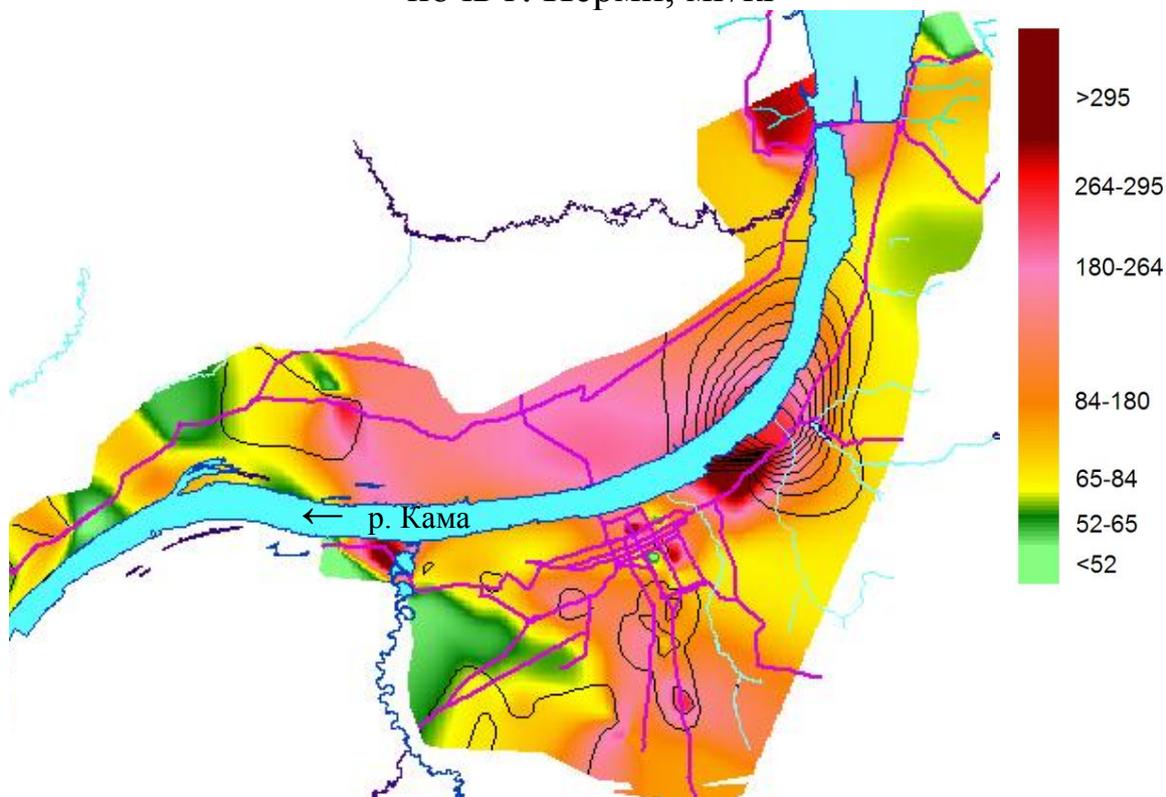


Рисунок 26 - Картограмма пространственного распределения Zn в поверхностных горизонтах (U, A<sub>1ur</sub>, A<sub>2</sub>, P) почв г. Перми, мг/кг

Площади почв с очень высоким содержанием Cu и Cr составляют 12%, высоким – 5%, выше среднего – 11%, средним – 40%, ниже среднего – 16%, низким – 12% и очень низким – 4% (рис. 27, 28). Почвы с высокими концентрациями Cu и Cr приурочены к зонам промышленных предприятий города, низкими – к рекреационным территориям.

Содержание Pb максимально в почвах вблизи крупных автомагистралей по ул. Уральская, Ш. Космонавтов (рис. 29), площадь таких почв составляет 6%. Основная часть территории города представлена почвами со средним (29%) и ниже среднего (51%) содержанием Pb. В почвах рекреационных территорий города его содержание низкое (7%) и очень низкое (6%).

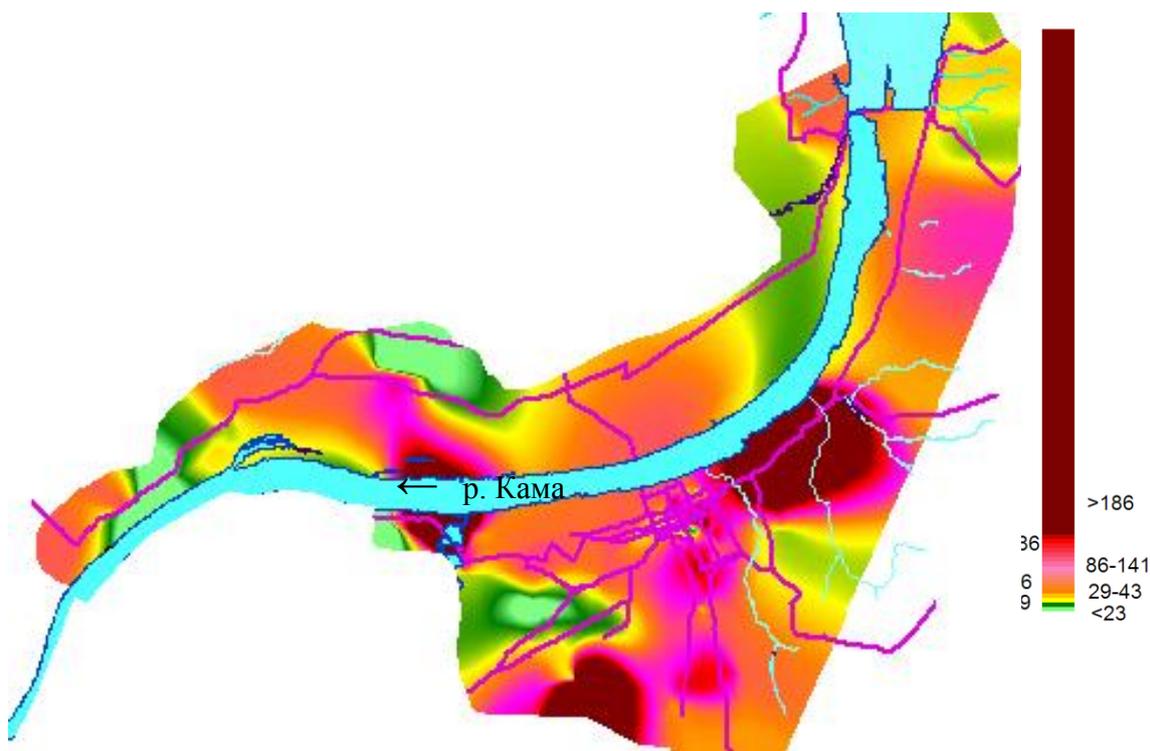


Рисунок 27 - Картосхема пространственного распределения Cu в поверхностных горизонтах (U, A<sub>У</sub>ur, A<sub>У</sub>, P) почв г. Перми, мг/кг

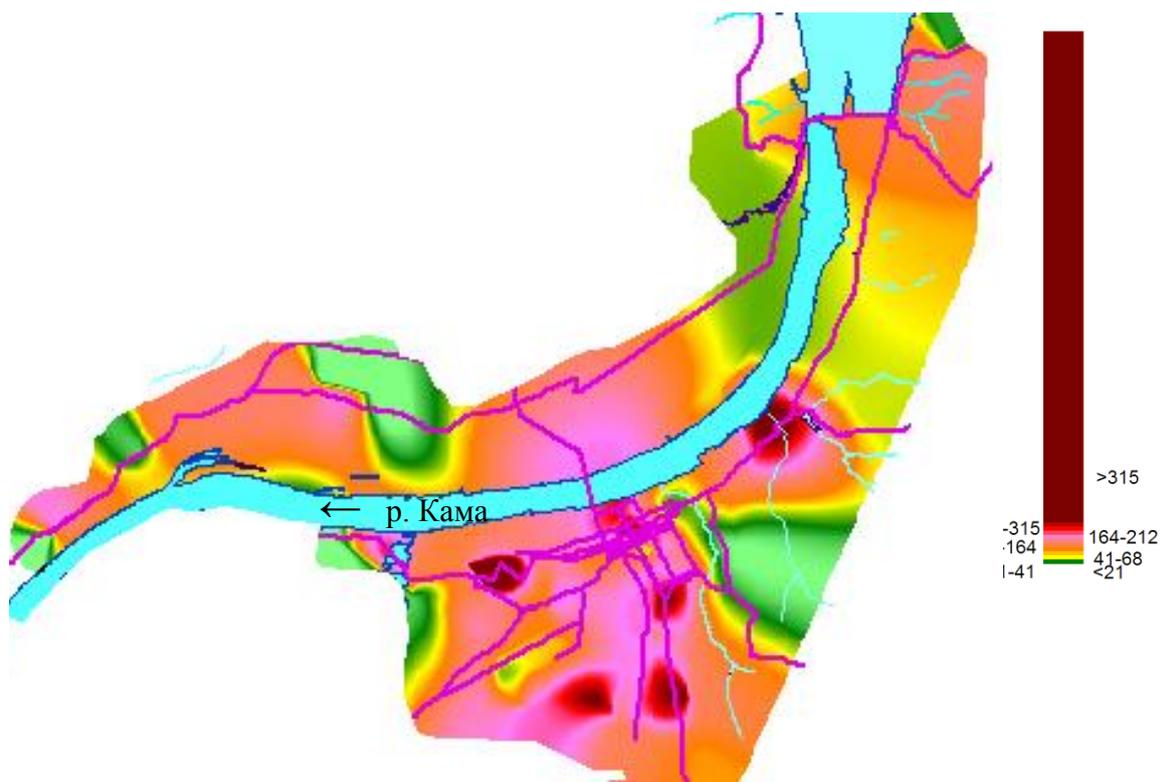


Рисунок 28 - Картосхема пространственного распределения Sr в поверхностных горизонтах (U, АУ<sub>ur</sub>, АУ, Р) почв г. Перми, мг/кг

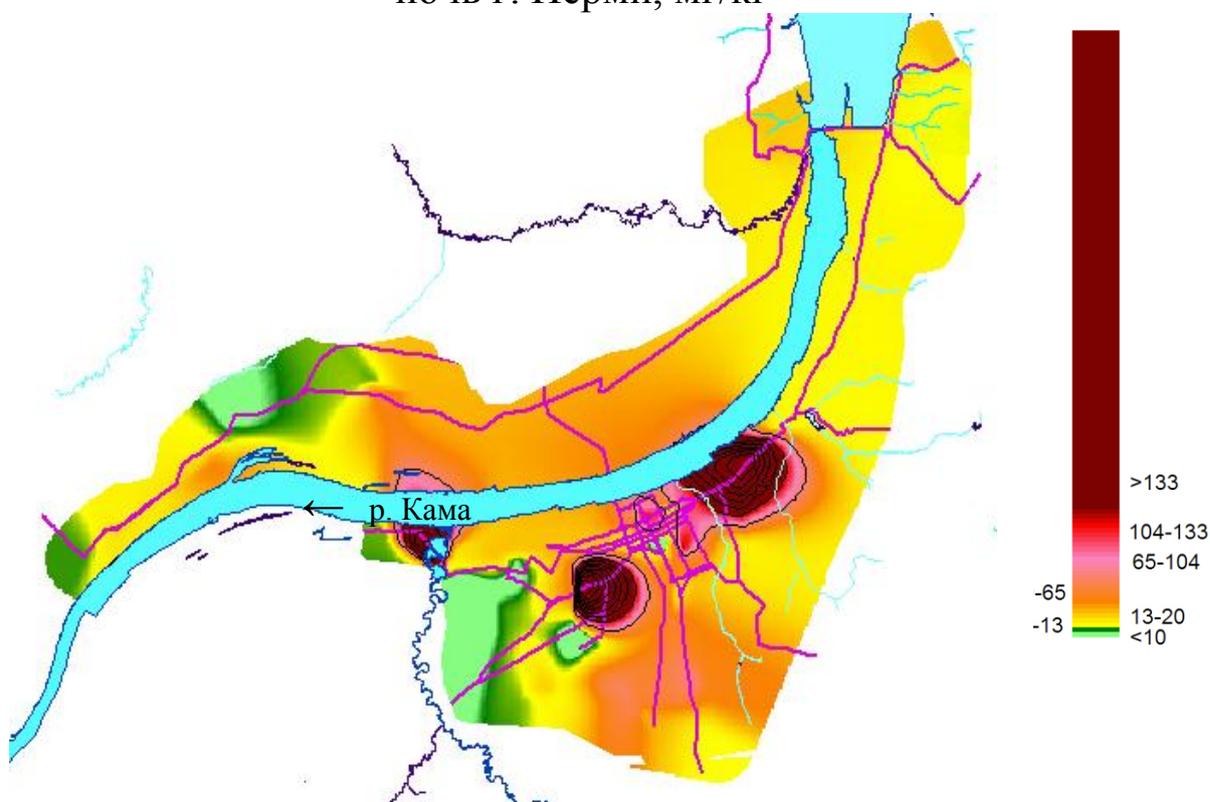


Рисунок 29 - Картосхема пространственного распределения Pb в поверхностных горизонтах (U, АУ<sub>ur</sub>, АУ, Р) почв г. Перми, мг/кг

Почвы г. Перми в основном имеют допустимую степень загрязнения – 83% площади от всей территории города характеризуются  $Z_c$  от 1 до 16 (рис. 30). Почвы с оценкой  $Z_c$  поллютантов более 32 единиц характерны для почв г. Перми, расположенных вблизи ОАО «Мотовилихинские заводы», по ул. Шоссе Космонавтов и ул. Куфонины, где наблюдается высокая транспортная нагрузка. Они занимают 13% площади города.

Таким образом, картографический анализ показал, что распределение ТМ в почвенном покрове г. Перми крайне неоднородно, загрязнение имеет полиметаллический характер, ареалы почв с повышенным содержанием ТМ и высокой МВ близки по форме.

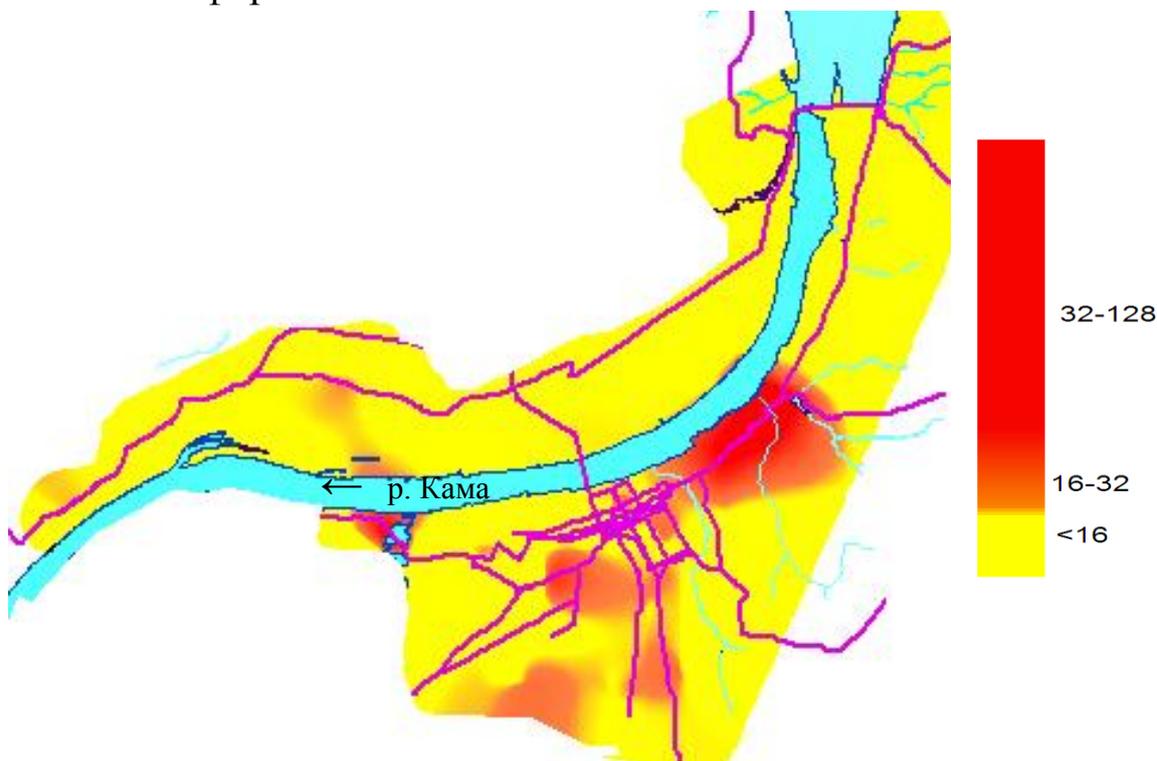


Рисунок 30 - Картограмма пространственного распределения суммарного показателя загрязнения по Сауту в поверхностных горизонтах (U, A<sub>Уг</sub>, A<sub>У</sub>, P) почв г. Перми

### 5.3.3 Взаимосвязь тяжелых металлов и мышьяка

Взаимосвязь микроэлементов оценена по результатам анализа: а) парная корреляция, б) кластерный анализ.

*Парная корреляция.* Анализ взаимосвязи валового содержания ТМ и Аs в почвах выявил достоверную сильную зависимость между концентрацией Ni и Cr ( $r=0,9$ ), среднюю взаимосвязь – Zn с Pb, Cu, As, Mn (табл. 35).

Таблица 35 - Корреляционная матрица парной взаимосвязи ТМ и Аs в почвах г. Перми, n=122

	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ga	Rb	Y	Zr
Zn	1											
As	0,46*	1										
Pb	0,49*	0,23*	1									
Cr	0,21	0,32*	0,00	1								
Ni	0,27*	0,31*	0,02	0,90*	1							
Cu	0,48*	0,43*	0,52*	0,32*	0,35*	1						
Mn	0,31*	0,47*	0,08	0,72*	0,63*	0,29*	1					
Sr	0,05	-0,12	-0,06	-0,21	-0,24	-0,05	0,11	1				
Ga	0,14	0,10	0,34*	0,01	0,16	0,16	0,21	0,15	1			
Rb	0,06	0,10	0,02	-0,19	-0,27	-0,17	0,25*	0,43*	0,38*	1		
Y	0,15	0,36*	0,01	-0,02	0,00	-0,02	0,50*	0,27*	0,40*	0,80*	1	
Zr	0,18	0,29*	0,19	-0,12	-0,10	0,06	0,21	0,19	0,45*	0,79*	0,81*	1

\*- достоверно при уровне значимости 0,95

Концентрация As достоверно связана с Mn, Cu, Y, Cr. Высокие достоверные коэффициенты корреляции по Спирмену в парах Pb - Cu; Cr - Mn; Ni - Mn, Ni - Cu. Основные загрязнители почв г. Перми – Ni, Cr, Cu, Zn находятся в одной группе четвертого периода системы Менделеева, поэтому они между собой тесно связаны.

*Множественная корреляция.* На дендрограмме множественной корреляции концентрации ТМ и Аs в почвах г. Перми выделяется четыре кластера с высоким уровнем сходства (< 1,0) металлов: Zr-Y-Rb, Cr-Ni, Zn-Pb-Cu, Mn-Sr (рис. 31).

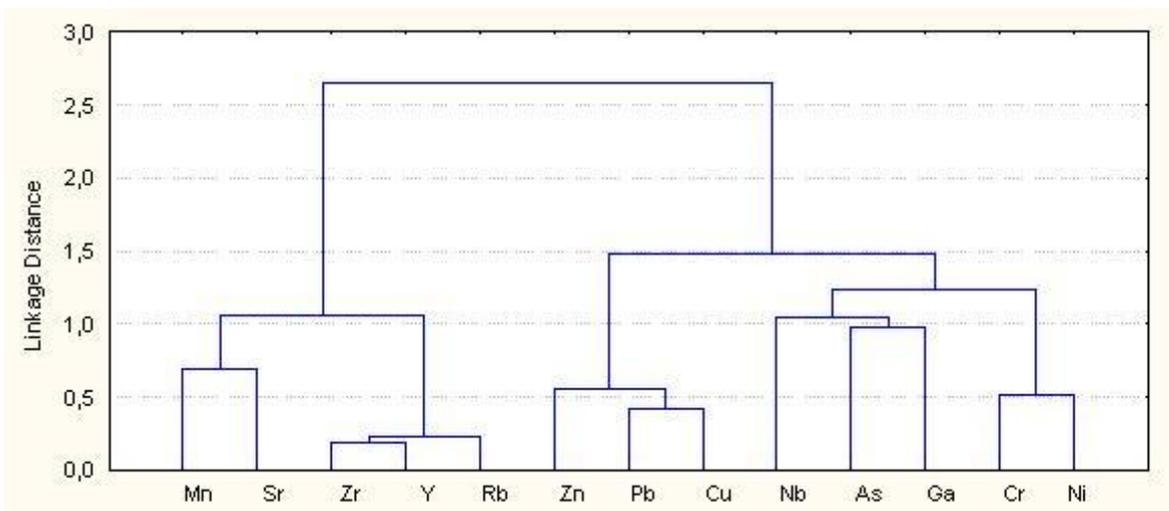


Рисунок 31 - Дендрограмма кластерного анализа взаимосвязи ТМ и As в почвах г. Перми, n=122

Наиболее тесная связь в почвах выявлена между редкоземельными металлами, которые образуют кластер Zr-Y-Rb. Кластер Zn-Pb-Cu имеет высокий уровень сходства ( $< 0,6$ ) металлов, но связан с кластером Cr-Ni в меньшей степени, чем последний с кластером As-Sr-Nb-Ga. При снижении уровня сходства в интервале от 1,0 до 1,5 в один кластер объединяются основные поллютанты почв г. Перми – Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, As.

#### 5.2.4 Содержание подвижных форм тяжелых металлов и железа

Подвижные формы ТМ и Fe: а) оценка содержания, б) взаимосвязь.

*Оценка содержания.* Для эколого-геохимической оценки почвенного покрова городов актуально изучение не только валового содержания ТМ, но также и их подвижных форм, так как они представляют наибольшую угрозу для здоровья городских жителей. В гумидных условиях почвообразования Предуралья подвижные формы ТМ являются наиболее активными компонентами водной миграции химических элементов.

Содержание подвижных форм ТМ и Fe определено в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) при рН = 4,8 атомно-абсорбционным методом на приборе КВАНТ-2; 180 элементоопределений.

В профиле урбаноземов максимальное содержание Cr, Fe, Cu, Pb, Ni на глубине 23-58 см (ул. Пермская, 7а), содержание Mn с глубиной уменьшается (табл. 36). Поверхностные горизонты U<sub>1</sub> и U<sub>2</sub> содержат меньше металлов Cr, Fe, Cu, Pb в подвижной форме, чем подповерхностные. Это связано с процессами миграции ТМ в подповерхностные горизонты и периодическим обновлением верхних горизонтов урбопочв путем внесения на поверхность почвы торфо-минерального субстрата. Содержание подвижных форм Cr, Cu, Ni значительно выше в почвах придорожных территории, чем в почвах бульваров, скверов и внутриквартальных территорий. Так, в урбаноземах на улицах Лодыгина, 49, Полины Осипенко, 56, Сибирской, 37, Героев Хасана, 12 содержание Cr, Cu и Ni по сравнению с почвами бульваров, скверов и внутриквартальных территорий в среднем выше, соответственно, в 4,4, 11,2 и 7,7 раза. Почвы внутриквартальных территорий, также загрязнены, но в меньшей степени. Так, превышение ПДК достигает по Cr 1,2-1,7 раза, по Ni – 1,0-2,6 раза. В почвах бульваров загрязнение выявлено только по Pb на Комсомольском проспекте [24].

Таблица 36 - Содержание подвижных форм ТМ и Fe (мг/кг) в почвах г. Перми

Место отбора образца	Mn	Cr	Fe	Cu	Pb	Ni
ПДК	100,0	6,0	-	3,0	6,0	4,0
Почвы реперных участков <sup>1</sup>	-		-	0,1	3,5	
Опытное поле ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА <sup>2</sup>	-	0,51	-	0,33	0,24	1,38
ГНУ Пермский НИИСХ <sup>3</sup>	-	-	-	0,2	0,8	-
Разрез 6. Урбанозем мелкий, ул. Куйбышева, 147						
U <sub>1</sub> 0-12 см	109,1	9,3	149,0	11,3	4,0	2,4
UB 17-27 см	115,8	8,1	140,5	2,1	0,9	1,6

Место отбора образца	Mn	Cr	Fe	Cu	Pb	Ni
Разрез 7. Урбанозем среднемощный, ул. Пермская, 7а						
U <sub>1</sub> 0-10	53,3	3,8	255,0	2,5	10,0	1,4
U <sub>2</sub> 10-20	54,3	3,6	95,0	0,7	4,9	1,8
U <sub>3</sub> 30-40	17,0	5,0	605,0	13,2	11,2	1,2
U <sub>4</sub> 45-55	20,0	5,9	875,0	8,5	8,4	1,7
U <sub>5</sub> 60-70	11,4	2,7	905,0	2,5	8,3	0,8
Бульвары и скверы						
Комсомольский проспект, 8	60,7	5,0	140,0	0,8	4,9	3,4
Комсомольский проспект, 8	53,5	4,0	150,0	0,9	6,6	2,3
Комсомольский проспект, 9	68,5	4,9	100,0	0,7	1,2	1,9
Сквер «Театральный»	84,3	2,1	130,0	0,5	1,7	0,9
Сквер «Театральный»	63,5	2,9	115,0	0,7	1,9	0,9
Сквер «Театральный»	75,6	1,9	175,0	0,4	2,6	0,8
Сквер «Театральный»	74,3	2,8	245,0	0,7	4,6	0,9
Сквер «Театральный»	84,5	2,7	140,0	0,4	1,5	0,9
Сквер «Театральный»	84,9	2,9	130,0	0,4	1,2	0,8
Внутриквартальные территории						
Ш. Космонавтов, 108	76,7	12,7	125,0	1,4	5,5	4,3
Ш. Космонавтов, 109	46,1	6,6	150,0	0,8	5,2	2,4
Ул. Лодыгина, 33	74,4	7,1	70,0	1,2	4,8	2,0
Комсомольский проспект, 11	49,4	6,2	510,0	2,8	2,8	10,4
Ул. Весенняя, 6	90,7	10,5	115,0	1,5	4,2	3,9
Придорожные территории						
Ул. Ленина, 21	43,3	6,1	455,0	0,9	3,6	2,1
Ул. Ленина, 21	23,6	4,5	805,0	0,5	0,8	1,7
Ш. Космонавтов, 112	47,9	3,8	85,0	0,8	6,4	1,9
Ул. Серпуховская, 7	52,1	5,8	70,0	1,0	3,4	3,5
Ул. Лодыгина, 49	16,9	12,2	390,0	3,8	3,8	13,3
Ул. П. Осипенко, 56	38,1	9,8	205,0	13,1	6,1	9,3
Ул. Сибирская, 37	49,4	14,9	510,0	2,8	2,8	10,4
Ул. Героев Хасана, 12	74,4	25,0	759,0	6,9	5,1	22,3
Ул. Весенняя, 11	62,0	4,4	120,0	0,7	4,3	3,7

1 – Состояние и охрана... [218], 2 – Субботина М.Г. [228], 3 – Васбиева М.Т. [21], «-» данные отсутствуют

Концентрации подвижных форм Cr, Cu и Ni в 100 %, а Pb – в 66% изученных образцов почв г. Перми превышают концентрации аналогичных форм ТМ в почвах реперных

участков ФГУП ГЦАС Пермский, опытного поля ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА и опытного поля ГНУ Пермского НИ-ИСХ в Пермском районе Пермского края. Следовательно экологическая ситуация в г. Перми неблагоприятная.

*Взаимосвязь подвижных форм Fe и ТМ.* В почвах г. Перми содержание подвижного Ni достоверно связано с Cr ( $r=0,87$ ), в парах Cu – Pb, Cr и Fe коэффициенты корреляции составляют 0,5 и 0,37 (табл. 37).

Таблица 37 - Корреляционная матрица парной взаимосвязи подвижных форм ТМ и Fe в почвах г. Перми, n =30

	Mn	Cr	Fe	Cu	Pb	Ni
Mn	1					
Cr	0,09	1				
Fe	-0,62	0,27	1			
Cu	-0,22	0,37*	0,37*	1		
Pb	-0,51	0,03	0,32	0,50*	1	
Ni	-0,11	0,87*	0,33	0,31	-0,01	1

Подвижные формы изученных ТМ в почвах г. Перми имеют связь с подвижной железо-марганцевой фазой почвы (рис. 32). По данным А.В. Романовой [203], такая связь характерна и для аллювиальных почв Пермского края. Следовательно, накопление ТМ происходит в гидроксидах железа.

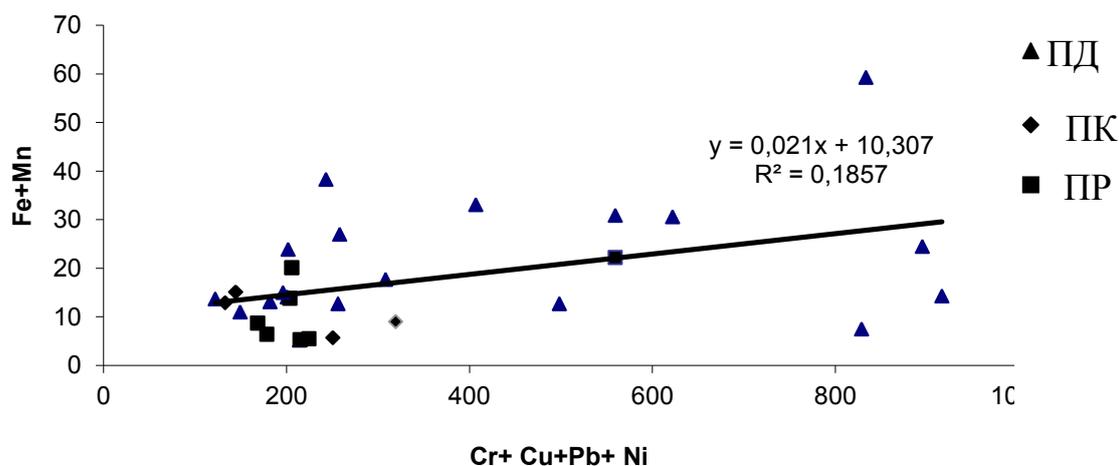


Рисунок 32 - Взаимосвязь подвижных форм Fe и Mn с суммарным содержанием подвижных форм Cr, Cu, Pb, Ni в почвах г. Перми

Таким образом, среди изученных нами ТМ приоритетными загрязнителями почв г. Перми являются Zn, As, Pb, Ni, Cu, Cr. В профиле почв распределение ТМ имеет аккумулятивный или синлитогенный характер. В урбо-дерново-подзолистых почвах и агроземах максимальная концентрация ТМ наблюдается в поверхностных горизонтах, в урбаноземах в средней части профиля. Содержание ТМ выше в почвах придорожных территорий, чем в почвах других изученных функциональных зон. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова г. Перми по результатам наших исследований подтвердила ранее полученные данные о высокой концентрации Zn, Cu, Pb в почвах многоэтажной застройки города [86, 125] и в почвах бульваров и скверов [47]. Установленная нами загрязненность почв г. Перми As, Cr и Ni имеет техногенную природу и сочетается с природным обогащением почв города Cr и Ni.

## ГЛАВА 6. ИНДИКАЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЧВ

### 6.1 Состав и содержание минералов железа

Железосодержащая фаза почв определена методом мессбауэровской спектроскопии на спектрометре Ms-1104 Em в режиме постоянных ускорений с источником  $^{57}\text{Co}$  в матрице хрома при комнатной температуре. Исследования выполнены в Московском институте стали и сплавов (ФГАОУ ВПО «НИТУ МИСиС»).

Мессбауэровские спектры были изучены в двух группах образцов разномагнитных почв: низкомагнитные ( $0,7-1,2 \cdot 10^{-3}$  СИ) и высокомагнитные ( $11-13 \cdot 10^{-3}$  СИ) (табл. 38). Все образцы загрязнены ТМ и As, характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией среды, средним и высоким содержанием гумуса, повышенной и высокой емкостью катионного обмена, что типично для гор. У. Высокомагнитные почвы содержат больше Cr, Ni, Cu.

Основная часть железа в почвах г. Перми приходится на тонкодисперсные гидроксиды железа и гидрослюды (табл. 39). Во всех изученных образцах, кроме образца 3, по мессбауэровским параметрам дуплетов D1 диагностируется  $\text{Fe}^{2+}$  в составе хлорита. В этих же образцах по характеристике дуплетов D2 диагностирован хлорит с содержанием  $\text{Fe}^{3+}$ . Химический и фазовый состав минералов группы хлоритов в природе разнообразен. В кристаллической решетке этих железосодержащих минералов возможно частичное изоморфное замещение ионов Mg,  $\text{Fe}^{2+}$  или  $\text{Fe}^{3+}$  на ионы Mn, Cr, Ni, Ti, V, Zn [56]. Вместе с тем, хлорит является парамагнетиком, его МВ составляет всего  $0,05-0,95 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/кг [278]. В составе валового железа изученных образцов на железо хлоритов приходится 0,29-0,85 % [22].

Таблица 38 - Магнитная восприимчивость, содержание ТМ и физико-химические свойства образцов почв, изученных методом мессбауэровской спектроскопии

№ обр.	Улица, ФЗ	$\chi^* 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$\alpha^* 10^{-3}$ СИ	Мг/кг						Сорг, %	Мг-экв-100 г почвы			V,%	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H2O</sub>
				Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	ΣCo		Hг	S	Еко			
Низкомагнитные почвы																
1	Лодыгина, 33, ПК	125,5	1,2	<u>210*</u> - **	<u>53</u> 4,8	<u>137</u> 7,1	<u>88</u> 2,0	<u>92</u> 1,2	<u>6,7</u> 2,9	4,9	-	46,7	46,7	100	7,0	6,8
5	Екатерининская, 133, ПК	76,6	1,2	<u>120</u> -	<u>21</u> -	<u>68</u> -	<u>79</u> -	<u>43</u> -	<u>3,6</u> -	3,5	-	34,0	34,0	100	6,7	6,6
6	Весенняя, 6, ПК	74	0,7	<u>129</u> -	<u>34</u> 4,2	<u>109</u> 10,5	<u>65</u> 3,9	<u>56</u> 1,5	<u>4,2</u> 4,0	4,3	2,0	31,8	33,8	94	5,7	6,6
Высокомагнитные почвы																
2	Героев Хасана, 12, ПД	1064,2	12,4	<u>139</u> -	<u>20</u> 5,1	<u>369</u> 25	<u>483</u> 22,3	<u>156</u> 6,9	<u>10,5</u> 13,0	3,7	-	27,1	27,1	100	7,4	7,9
3	Сибирская, 37, ПД	1064,8	11,0	<u>157</u> -	<u>22</u> 2,8	<u>219</u> 14,9	<u>239</u> 10,4	<u>253</u> 2,8	<u>9,7</u> 6,5	4,2	-	35,1	35,1	100	7,3	7,3
4	Куйбышева, 105, ПД	321,6	13,0	<u>179</u> -	<u>45</u> -	<u>178</u> -	<u>180</u> -	<u>109</u> -	<u>7,3</u> -	6,0	-	36,8	36,8	100	6,9	7,1

«-» данные отсутствуют, \* валовое содержание ТМ, \*\* подвижные формы ТМ

В придорожной почве на ул. Сибирской по параметрам дуплетов D1, D2 и D3 диагностируется ильменит, слюда с содержанием  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{4+}$ , а также пироксен. Ильменит часто является промежуточной фазой для образования титаномагнетита и относится к антиферромагнетикам. Его МВ составляет  $170 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг [278], что в два раза больше чем у крупнодисперсного гематита.

Основной вклад в МВ почв г. Перми вносят магнитоупорядоченные оксиды железа: гематит и магнетит (рис. 33, 34, табл. 39), которые диагностируются по параметрам сикстет С1, С2 и С3. В урбаноземе по ул. Лодыгина, 22 (образец 1) были выявлены две фазы гематита  $Fe_2O_3$ . Тонкодисперсный гематит диагностируется по более низкому значению эффективного магнитного поля  $H_{эф}=483$  сикстеты С2. Снижение эффективного магнитного поля происходит в результате изоморфного замещения  $Fe^{3+}$  в решетке гематита на катионы других металлов. МВ тонкодисперсного гематита в два раза выше, чем крупнодисперсного.

Ферримагнитный оксид железа магнетит  $Fe_3O_4$  обнаружен в пяти образцах. По характеристике сикстеты С2 оценивают содержание  $Fe^{3+}$  в подрешетке **A** шпинели магнетита, а сикстета С3 характеризует  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$  в подрешетке **B**. В химически чистом или стехиометричном магнетите отношение площадей сикстет **B** и **A** в мессбауэровском спектре равно двум и пропорционально числу ионов железа  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$  в структурной решетке шпинели магнетита.

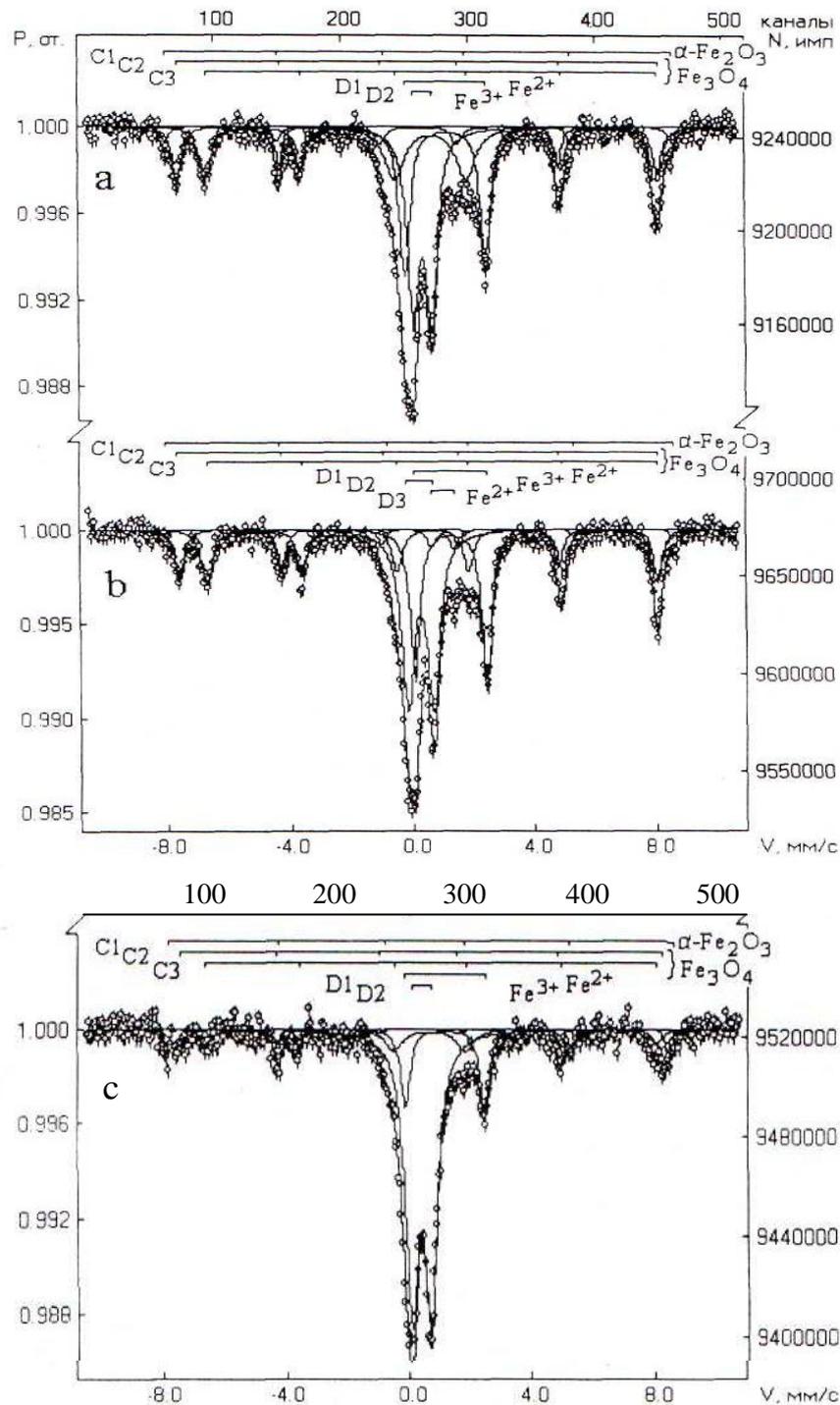


Рисунок 33 - Мессбауэровские спектры высокомагнитных образцов почв г. Перми: а – № 2; б – № 3, с - №4. Р- вероятность резонансного эффекта; n – число каналов; N – число импульсов в канале; v - скорость движения источника  $\gamma$  – излучения. Местоположение точек отбора образцов № 2, № 3, № 4 указано в таблице 38.

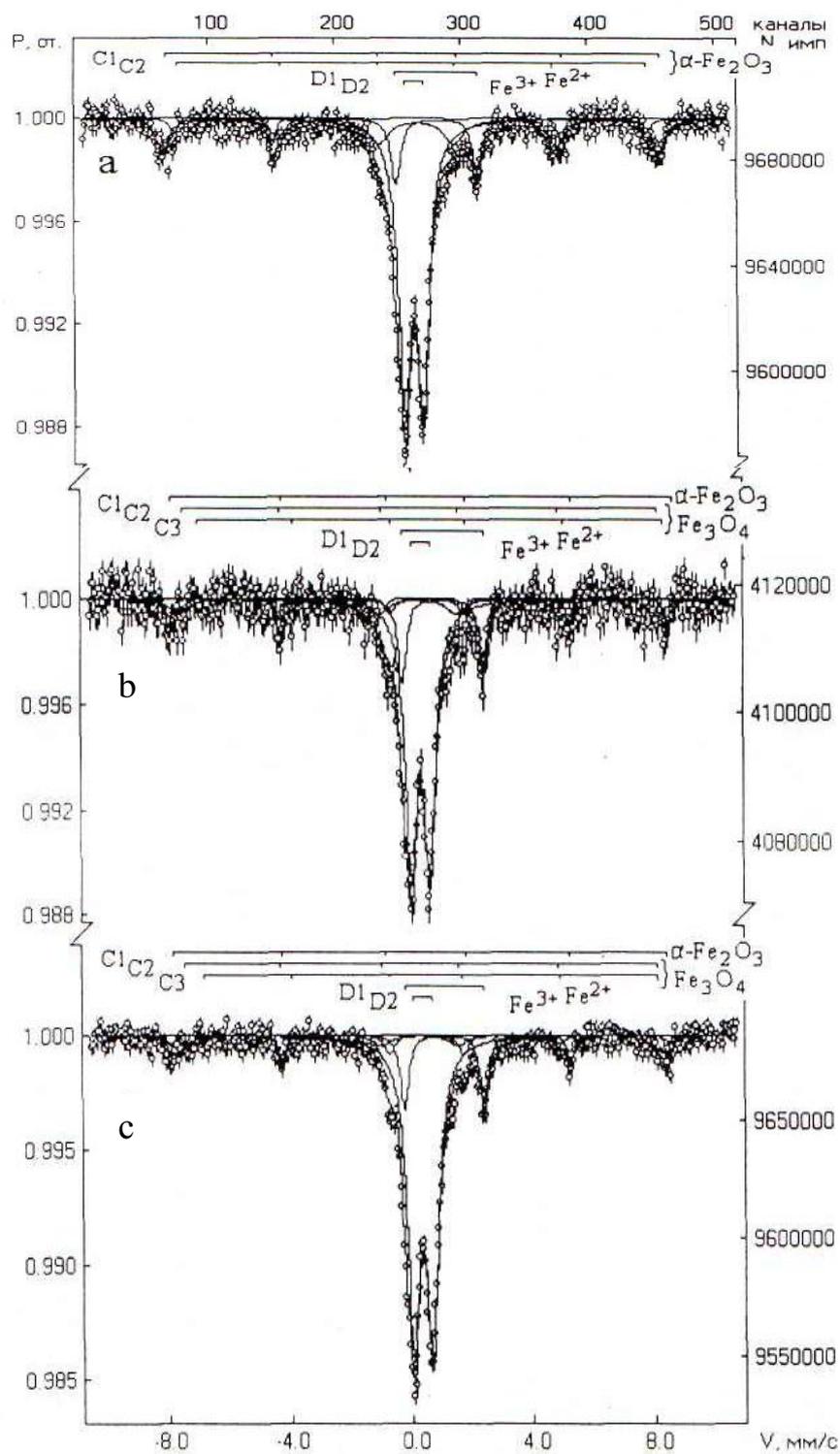


Рисунок 34 - Мессбауэровские спектры низкомагнитных образцов почв г. Перми: а - № 1; б - № 5; с - № 6. Р- вероятность резонансного эффекта; n – число каналов; N – число импульсов в канале; v - скорость движения источника  $\gamma$  – излучения.

Местоположение точек отбора образцов № 1, № 5, № 6 указано в таблице 38

Таблица 39 - Мессбауэровские параметры железосодержащей фазы разномагнитных почв г. Перми

№ обр.	$\chi^*$ $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Компонента спектра	$\delta$ , мм/с	$\Delta$ , мм/с	$\text{Fe}^{57}$ Нэф, Кэ	RI, %	Fe фаз, %	Содержание фазы, %	Фаза	МВ (фазы) $*10^{-6}$ $\text{м}^3/\text{кг}^{-1}$
Низкомагнитные почвы										
1	125,5	C1( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,38	-0,20	508	10,2	0,38	0,54	Гематит	0,35-0,78
		C2( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,35	-0,21	483	18,6	0,69	0,99	Т/д гематит	1,19-1,69
		D1( $\text{Fe}^{2+}$ )	1,12	2,69	0	10,3	0,39	-	Хлорит $\text{Fe}^{2+}$	0,05-0,95
		D2( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,36	0,62	0	60,9	2,28	-	Т/д гидроксиды Fe	0,35-0,7
									Гидрослюда	0,15
									Хлорит $\text{Fe}^{3+}$	0,05-0,95
5	76,6	C1( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,41	-0,26	509	7,3	0,16	0,23	Гематит	0,35-0,78
		C2( $\text{Fe}^{3+}$ ) <b>A</b>	0,28	-0,04	489	12,7	0,28	<b>0,52</b>	<b>Магнетит</b>	390-1000
		C3( $\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$ ) <b>B</b>	0,63	0,06	475	4,4	0,10			
		D1( $\text{Fe}^{2+}$ )	1,12	2,69	0	12,8	0,29	-	Хлорит $\text{Fe}^{2+}$	0,05-0,95
		D2( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,37	0,63	0	62,8	1,41	-	Т/д гидроксиды Fe	0,35-0,7
									Гидрослюда	0,15
									Хлорит $\text{Fe}^{3+}$	0,05-0,95
6	74	C1( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,38	-0,26	510	5,3	0,16	0,23	Гематит	0,35-0,78
		C2( $\text{Fe}^{3+}$ ) <b>A</b>	0,28	-0,04	490	9,5	0,28	<b>0,52</b>	<b>Магнетит</b>	390-1000
		C3( $\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$ ) <b>B</b>	0,67	0,31	475	6,5	2,02			
		D1( $\text{Fe}^{2+}$ )	1,11	2,64	0	11,0	0,33	-	Хлорит $\text{Fe}^{2+}$	0,05-0,95
		D2( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,37	0,64	0	67,7	1,41	-	Т/д гидроксиды Fe	0,35-0,7
									Гидрослюда	0,15
									Хлорит $\text{Fe}^{3+}$	0,05-0,95

## Окончание таблицы 39

№ обр.	$\chi^*$ $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Компонента спектра	$\delta$ , мм/с	$\Delta$ , мм/с	Fe <sup>57</sup> Нэф, Кэ	RI, %	Fe фаз, %	Содержание фазы, %	Фаза	МВ (фазы) *10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /кг <sup>-1</sup>
<b>Высокомагнитные почвы</b>										
2	1064,2	C1(Fe <sup>3+</sup> )	0,37	-0,16	515	3,5	0,14	0,2	Гематит	0,35-0,78
		<b>C2(Fe<sup>3+</sup>) A</b>	0,27	-0,02	490	13,9	0,56	<b>2,42</b>	<b>Магнетит</b>	390-1000
		<b>C3(Fe<sup>3+</sup>,Fe<sup>2+</sup>) B</b>	0,67	0,02	458	29,6	1,19			
		D1(Fe <sup>2+</sup> )	1,14	2,66	0	21,9	0,89	-	Хлорит Fe <sup>2+</sup>	0,05-0,95
		D2(Fe <sup>3+</sup> )	0,39	0,61	0	31,1	1,25	-	Т/д гидроксиды Fe	0,35-0,7
									Гидрослюда	0,15
Хлорит Fe <sup>3+</sup>	0,05-0,95									
3	1064,8	C1(Fe <sup>3+</sup> )	0,38	-0,21	517	2,4	0,09	0,13	Гематит	0,35-0,78
		<b>C2(Fe<sup>3+</sup>) A</b>	0,26	-0,03	487	14,1	0,56	<b>2,02</b>	<b>Магнетит</b>	390-1000
		<b>C3(Fe<sup>3+</sup>,Fe<sup>2+</sup>) B</b>	0,68	0,01	458	22,9	0,90			
		D1(Fe <sup>2+</sup> )	1,26	2,37	0	23,7	0,93	-	Пироксен	0,04-0,94
		D2(Fe <sup>3+</sup> )	0,26	0,86	0	34,4	1,36	-	Слюда с Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>4+</sup>	0,05-0,95
		D3(Fe <sup>2+</sup> )	1,01	0,74	0	2,5	0,10	-	Ильменит	1,7-2,0
4	321,6	C1(Fe <sup>3+</sup> )	0,34	-0,23	507	6,4	0,22	0,32	Гематит	0,35-0,78
		<b>C2(Fe<sup>3+</sup>) A</b>	0,29	0,07	489	7,0	0,24	<b>0,91</b>	<b>Магнетит</b>	390-1000
		<b>C3(Fe<sup>3+</sup>,Fe<sup>2+</sup>) B</b>	0,67	0,04	456	12,4	0,42			
		D1(Fe <sup>2+</sup> )	1,14	2,59	0	13,3	0,45	-	Хлорит Fe <sup>2+</sup>	0,05-0,95
		D2(Fe <sup>3+</sup> )	0,36	0,64	0	60,9	2,08	-	Т/д гидроксиды Fe	0,35-0,7
									Гидрослюда	0,15
Хлорит Fe <sup>3+</sup>	0,05-0,95									

\* – по данным J. Dearing [278];  $\delta$  – изоморфный сдвиг тонкодисперсных гидроксидов железа;  $\Delta$  – квадрупольное расщепление; Fe<sup>57</sup> Нэф – магнитные поля на ядрах; RI – площадь компонент; «-» означает не определяли

Для характеристики магнетита использованы два показателя: стехиометричность ( $S$ ) магнетита и концентрации дефектов структуры магнетита ( $C$ ). Они были рассчитаны по формулам Н. Topsoe [311]:

$$S = S_B / S_A \quad (9)$$

$$C = (2 - S) / (5S + 6), \quad (10)$$

где  $S_A$  – площадь сикстеты C2 ( $Fe^{3+}$ ) магнетита в мессбауэровском спектре;  $S_B$  – площадь сикстеты C3( $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ) магнетита в мессбауэровском спектре.

Расшифровка спектров показала, что магнетит почв г. Перми нестехиометричен, так как отношение площадей сикстет отклоняется от двух единиц (табл. 40). В большей степени нестехиометричность выражена в низкомагнитных образцах 5, 6 почв внутриквартальных территорий по ул. Екатерининская и ул. Весенняя. При высокой степени отклонения от стехиометрии структуры магнетита его МВ снижается до  $14000 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (табл. 40).

Увеличение нестехиометричности происходит в результате окисления ионов  $Fe^{+2}$  в подрешетке **В**. Ферромагнитная фаза почв в этом случае диагностируется как твердый раствор: магнетит-маггемит [209]. МВ маггемита ( $\gamma Fe_2O_3$ ) ниже, чем МВ магнетита и составляет  $371-286 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  [278]. В целом это определяет снижение МВ образцов почв внутривидовых территорий по ул. Екатерининская, 133 и ул. Лодыгина, 33. В высокомагнитных и одновременно сильно загрязненных ТМ урбаноземах придорожных территорий по ул. Куйбышева и ул. Сибирская (образцы 4 и 3) степень отклонения от стехиометрии ( $S$ ) меньше, чем в почвах внутриквартальных территорий [28]. Содержание Ni и Cr в высокомагнитных почвах (образцы 2, 3) в несколько раз выше, чем в образцах 1, 5, 6 низкомагнитных почв.

Таблица 40 - Степень отклонения структуры магнетита от стехиометрии (S), концентрация дефектов структуры магнетита (C) и МВ магнетита в разномагнитных почвах г. Перми и некоторые характеристики их железосодержащей фазы

№	Местоположение разреза, функциональная зона	$\chi^*$ $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Fe <sub>вал</sub> , %	K <sub>FeB</sub> <sup>1</sup>	FeM %	K <sub>FeM</sub> <sup>2</sup>	S	C	МВмагнетита* $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг тыс. ед
Низкомагнитные почвы									
1	Лодыгина 33, ПК	125,5	3,74	34	0	0	0	0	
5	Екатерининская 133, ПК	76,6	2,24	34	0,52	147	0,35	0,21	15
6	Весенняя 6, ПК	74	2,98	25	0,52	142	0,68	0,10	14
Высокомагнитные почвы									
2	Героев Хасана 12, ПД	1064,2	4,03	264	2,42	440	2,13	0,00	44
3	Сибирская 37, ПД	1064,8	3,94	270	2,02	527	1,62	0,03	53
4	Куйбышева 105, ПД	321,6	3,41	94	0,91	353	1,77	0,02	35

1 –  $K_{FeB} = \chi / Fe_2O_{3вал}, \%$ ; 2 –  $K_{FeM} = \chi / Fe_3O_4, \%$

Следовательно, если в изоморфном замещении части ионов  $Fe^{2+}$  в шпинели магнетита почв г. Перми участвуют катионы ферромагнитного Ni и антиферромагнитного Cr, то МВ нестехиометрического магнетита/маггемита остается высокой  $\sim 40000 \cdot 10^{-8}$  СИ. Степень отклонения структуры магнетита от стехиометрии в урбаноземе по ул. Героев Хасана (образец 2) составляет 2,13. Отношение интенсивности сикстеты В к интенсивности сикстеты А больше двух единиц возможно для структуры титаномагнетита [163].

Магнетит почв придорожных территорий и почв внутриквартальных территорий отличается также по мессбауэровскому параметру концентрация дефектов структуры «С» [251, 311]. Концентрации дефектов структуры «С» выше у магнетита низкомагнитных почв (табл. 40).

Содержание магнетита в почве (мг/кг) было рассчитано по формуле Ю.Н. Водяницкого [42]. Различия свойств, характеризующих фазы магнетит/маггемит в образцах 2-4 и 5-6 существенные. МВ магнетита/маггемита в образцах почв придорожных территорий в 2,5-3,7 раза больше, чем в образцах почв внутриквартальных территорий (табл. 40). В сводке Ю.Н. Водяницкого [43] в качестве причины неоднородности магнетита/маггемита в почвах Пермской агломерации указывается его поступление в почву из разных источников. На наш взгляд, различия МВ фазы магнетит/маггемит в почвах г. Перми в большей степени обусловлены развитием почвообразовательного процесса, чем техногенными условиями его синтеза. В почвах внутриквартальных территорий сферулы техногенного магнетита подвергаются постепенному окислению или мартитизации, что сопровождается увеличением в его составе доли маггемита и снижением МВ до  $14000 \cdot 10^{-8}$  СИ (табл. 40). В почвах придорожных территорий г. Перми МВ магнетита близка к табличным значениям стехиометричного магнетита [278] и составляет  $35000-55000 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Магнетит, в результате дорожно-транспортного загрязнения, поступает постоянно, и процесс техногенного загрязнения ФМ преобладает над мартитизацией.

Магнетит/маггемит низкомагнитных почв имеет более высокую величину Нэф внутреннего сикстета **В** – 475 Кэ. Увеличение Нэф происходит при замещении ионов Fe<sup>2+</sup> диамагнитными ионами Zn, Pb, Cu и парамагнитными – Mg, Ca. Изоморфное замещение Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> на ионы ТМ происходит в процессе высокотемпературного воздействия на шпинель стехиометричного магнетита: при переработке нефти для получения дизельного топлива, битума, асфальта; при сжигании нефтепродуктов в автомобильных двигателях; при выплавке стали и других технологических процессах.

Корреляционно-регрессионный анализ взаимосвязи МВ изученных образцов с некоторыми параметрами, характери-

зующими их железосодержащую фазу, показал достоверную корреляцию величины МВ с валовым содержанием железа  $Fe_{вал}$  ( $r=0,73$ ), с содержанием железа магнитоупорядоченных минералов  $Fe(МП)$  ( $r=0,97$ ) и с долей железа магнитоупорядоченных минералов в составе валового железа  $K\chi$  ( $r=0,92$ ) (рис. 35).

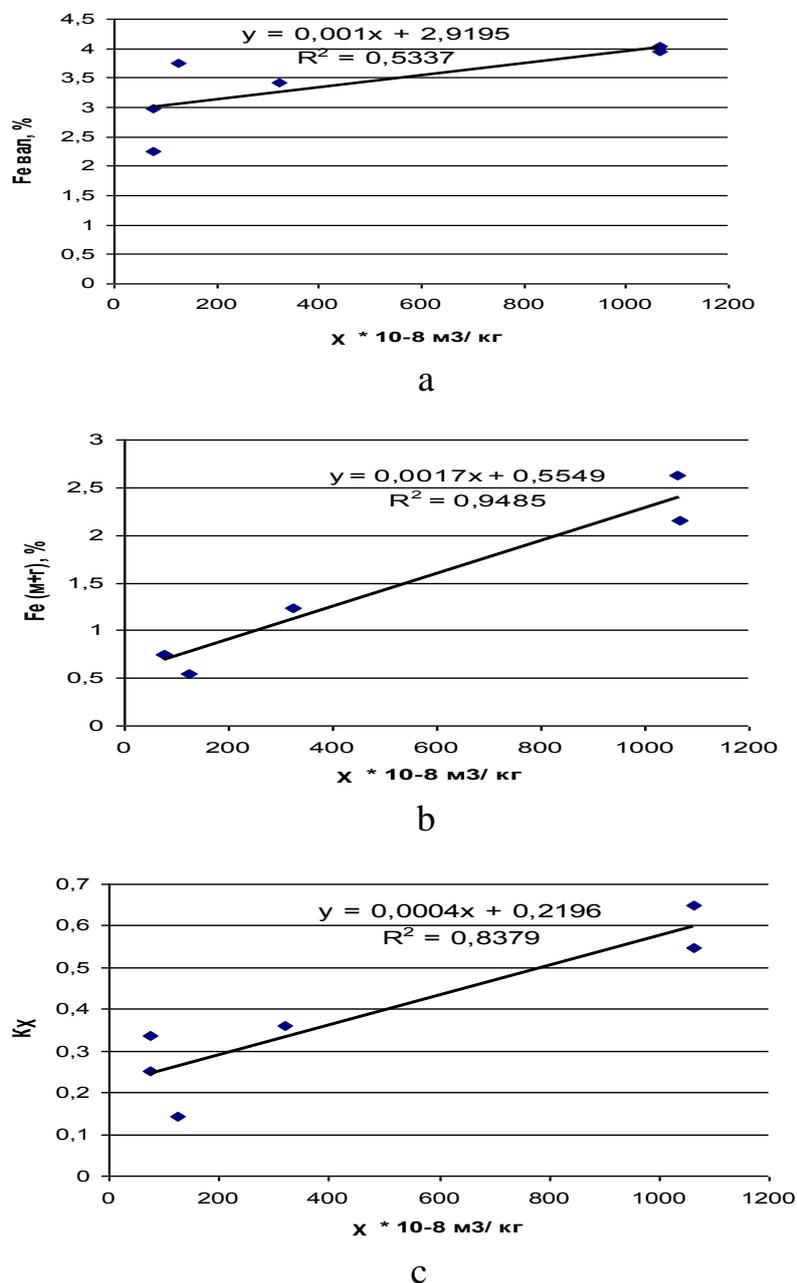


Рисунок 35 - Зависимость УМВ ( $\chi \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) и некоторых параметров, характеризующих железосодержащую фазу в почвах г. Перми: а – валовое содержание железа, %; б - содержание железа магнитоупорядоченных минералов, %; с - доля железа магнитоупорядоченных минералов в составе валового железа,  $K\chi$

Таким образом, железосодержащая фаза почв г. Перми имеет сложный минералогический состав. Соотношение парамагнитных, антиферромагнитных и ферромагнитных железосодержащих компонентов в почвах определяет неоднородность МВ почвенного покрова г. Перми. Изоморфное замещение железа на катионы ТМ в нестехиометрической структуре магнетита/маггемита и его аккумуляция в почвах способствуют тяжелометалльному загрязнению почвенного покрова города.

## **6.2 Магнитная восприимчивость почв как индикатор их элементного химического состава**

Индикационное значение магнитной восприимчивости в эколого-геохимических исследованиях почвенного покрова г. Перми было оценено по результатам элементного химического анализа в выборке «В» из 122 смешанных образцов почв. Сравнение величин МВ в выборке образцов «В» и в генеральной совокупности «Г» выявило, что границы центильных интервалов в соответствующих градациях имеют близкие значения (табл. 41). Это свидетельствует о репрезентативности выборки «В» и позволяет экстраполировать результаты их элементного химического анализа на почвенный покров города.

Таблица 41 - Центильный анализ значений МВ почв г. Перми в генеральной совокупности измерений «Г» и в выборке образцов «В», подвергнутых валовому химическому анализу

№ группы	Градация центильных интервалов	Границы центильных интервалов ОМВ*10 <sup>-3</sup> СИ	
		Г, n=2636	В, n=122
1	очень низкое	< 0,21	< 0,22
2	низкое	0,21-0,3	0,22-0,3
3	ниже среднего	0,3-0,57	0,3-0,6
4	среднее	0,57-2,1	0,6-3,1
5	выше среднего	2,1-4,5	3,1-5,4
6	высокое	4,5-6,3	5,4-7,4
7	очень высокое	> 6,3	>7,4

Индикационная роль МВ была выявлена по двум критериям: первый критерий – эколого-геохимическая оценка разномагнитных почв, второй – анализ взаимосвязи МВ и концентрации химических.

### **6.2.1 Эколого-геохимическая оценка разномагнитных почв**

Эколого-геохимическая оценка разномагнитных почв проведена по следующим показателям: а) содержание макроэлементов; б) содержание ТМ и As; в) техногенность (Тф,%) ТМ и As; г) суммарное загрязнение почв; д. взаимосвязь ТМ и As, парная корреляция; е) нормирование концентрации ТМ по Fe; ж. кластерный анализ.

*Содержание макроэлементов.* Оценка разницы средних арифметических значений концентрации макроэлементов по t-критерию Стьюдента показал, что в почвах с МВ  $> 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и MgO достоверно выше, а в низкомагнитных почвах достоверно выше концентрация TiO и MnO (табл. 42, 43). Обогащение MnO низкомагнитных почв происходит в составе диамагнитного торфа, TiO в составе песков, обогащенных анатазом, рутилом и другими минералами титана.

Ранее, в исследованиях Н.А. Москвиной [164] было установлено повышенное содержание Mn в почвах зон многоэтажной застройки г. Перми. Железо-карбонатные комплексы с высокой МВ часто преобладают в составе городской пыли [266]. В высокомагнитных почвах увеличение количества ферримагнетиков происходит в результате их загрязнения железо-кальцит-доломитовыми магнитными соединениями. Кальциево-магниевого ферриты относятся к ферримагнетикам и являются формой магнетита с изоморфным замещением Fe<sup>2+</sup> на Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>.

Таблица 42 - Статистические параметры валового содержания макроэлементов в разномагнитных почвах г. Перми

	А. Низкомагнитные (< 1 *10 <sup>-3</sup> СИ)						В. Высокомагнитные (>1 *10 <sup>-3</sup> СИ)					
	n	M <sub>1</sub> ±m	lim	V	Mo	Md	n	M <sub>2</sub> ±m	lim	V	Mo	Md
SiO <sub>2</sub>	50	59,2±13,0	27,6-88,2	18	50,8	59,8	72	59,7±9,20	35,5-72,8	12	61,1	60,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	7,54±2,53	3,54-14,9	26	10,7	7,43	72	7,24±2,82	1,31-13,4	32	13,4	7,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	3,54±1,14	1,50-7,03	23	3,06	3,56	72	4,41±2,82	2,55-27,0	23	4,88	4,14
TiO <sub>2</sub>	50	0,89±1,18	0,19-6,19	73	0,59	0,585	72	0,50±0,20	0,16-1,00	31	0,49	0,49
MnO	50	0,19±0,27	0,02-1,31	90	0,10	0,10	72	0,10±0,06	0,03-0,50	31	0,09	0,09
CaO	50	2,65±1,9	0,03-8,08	50	2,46	2,48	72	4,87±2,56	1,62-12,8	41	4,80	4,55
MgO	50	1,55±0,84	0,13-4,80	38	1,69	1,44	72	3,59±3,62	0,23-24,1	66	1,50	2,14
SO <sub>3</sub>	47	0,40±0,26	0,04-1,31	48	0,27	0,34	71	0,47±0,27	0,10-1,31	43	0,24	0,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50	0,42±0,31	0,02-1,67	53	0,16	0,38	62	0,38±0,30	0,02-1,29	63	0,13	0,34
K <sub>2</sub> O	50	1,19±0,55	0,03-1,93	35	1,38	1,31	72	1,23±0,51	0,14-2,17	34	2,11	1,23

Таблица 43 - Оценка по t-критерию Стьюдента различий валового содержания макроэлементов в низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почвах г. Перми

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
В-А	0,5	-0,3	0,87	-0,39	-0,9	2,22	2,04	0,07	-0,04	0,04
t <sub>фак</sub>	0,24	0,63	2,35*	2,29*	22,5*	5,55*	4,64*	1,4	0,71	0,41

*Содержание ТМ и As.* Значительная емкость магнетита/маггемита к ТМ определяет различия в микроэлементном химическом составе почв с разным уровнем МВ (табл. 44). Дисперсионный анализ и оценка разницы концентрации поллютантов по t-критерию Стьюдента выявили достоверно более высокое содержание Ni, Cu, Pb, Cr, Zn и As в высокомагнитных почвах (табл. 45). Для Ni, Cu, Pb, Cr границы колебаний концентрации (lim) шире в высокомагнитных почвах. Концентрация Rb, Sr, Y, Ga, Zr, Ba, Ce, La в разномагнитных почвах не отличается.

Концентрации (Ci) Zn, As, Ni, Cu, Pb превышают региональные фоновые значения (Cф) как в высокомагнитных, так и в низкомагнитных почвах (рис. 36). Уровень превышения отношения Ci/ Cф больше в почвах с  $OMB > 1,0 \cdot 10^{-3} СИ$ .

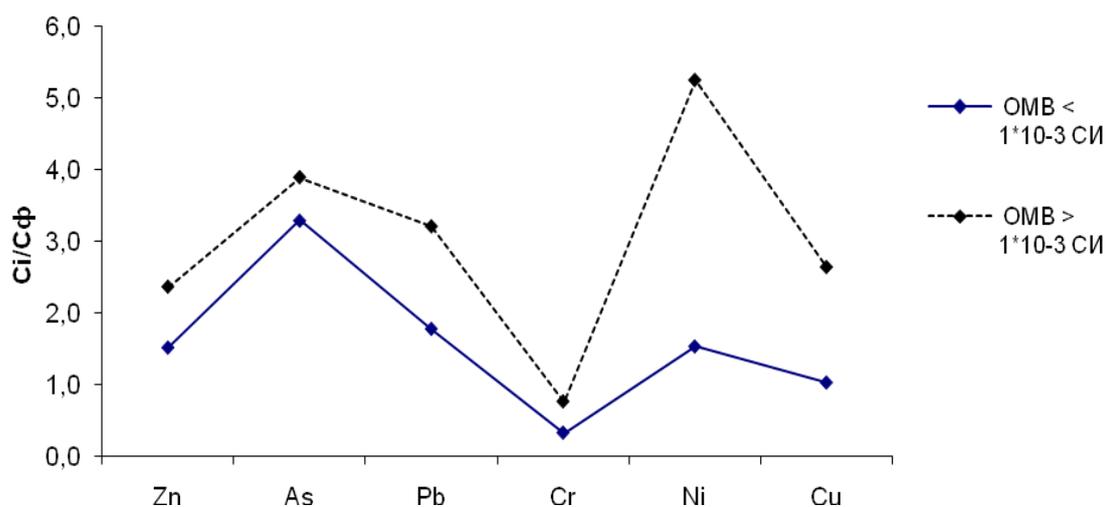


Рисунок 36 - Кратность превышения региональных фоновых концентраций ТМ и As в разномагнитных почвах г. Перми

В высокомагнитных почвах концентрация ТМ и As выше во всех функциональных зонах города (рис. 37).

Таблица 44 - Статистические параметры валового содержания ТМ и As в разномагнитных почвах г. Перми

	А. Низкомагнитные (< 1 *10 <sup>-3</sup> СИ)						В. Высокомагнитные (>1 *10 <sup>-3</sup> СИ)					
	n	M <sub>1</sub> ±m	lim	V	Mo	Md	n	M <sub>2</sub> ±m	lim	V	Mo	Md
Zn	50	106±65,5	19-346	44	83	85	72	166±87	71-528	40	129	136
As	33	7,1±2,7	4-16	29	5	6	42	9,0±5,0	4-24	43	5	7
Ni	50	53,5±25,5	10-147	36	52	51,5	72	186±226	38-1907	54	163	150
Cu	50	51,3±25,3	10-124	41	69	50	72	133±218	26-1309	77	79	78,5
Pb	47	41,4±53,8	4-367	69	36	28	72	72,2±97,1	9-630	71	54	49,5
Cr	50	90,2±54,1	7-212	50	62	89	72	213±452	27-3777	71	103	137
Mn	50	670±291	137-1317	33	775	697	72	771±477	240-3871	31	697	697
Sr	50	193±49,3	70-315	20	201	201	72	192±35,6	75-320	13	180	190
Zr	50	135±59,7	56-309	35	89	120	72	151±73,3	12-341	38	116	128
Y	50	14,9±4,8	6-29	24	13	14	72	15,3±5,6	5-31	28	14	14
Rb	50	36,5±11,5	15-65	25	36	36	72	33,8±13,5	11-64	31	30	31,5
Ga	48	9,4±4,8	4-25	39	6	8	58	10,2±4,3	5-22	32	6	9
Ba	16	414±64	292-522	12	447	436	24	430±90	314-627	18	329	427
La	16	24,5±6,3	15-33	22	26	26	24	21,1±5,8	12-31	24	18	18,5
Ce	16	40,6±13,2	18-57	31	49	49	24	32,5±11,3	18-51	31	27	28,5

Таблица 45 - Оценка по t-критерию Стьюдента различий среднеарифметических концентраций ТМ и As в низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почвах г. Перми

	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Zr	Y	Rb	Ga	Ba	La	Ce
В-А	60	2,9	30,8	122,8	132,5	81,7	101	-1	16	0,4	-2,7	0,8	16	-3,4	-8,1
tфак	4,35*	4,28*	2,25*	2,28*	4,91*	3,15*	0,22	0,12	1,32	0,42	1,18	1,57	0,66	1,93	2,03*

Для Ba, La, Ce теор. составляет 2,02, для остальных элементов – 1,98

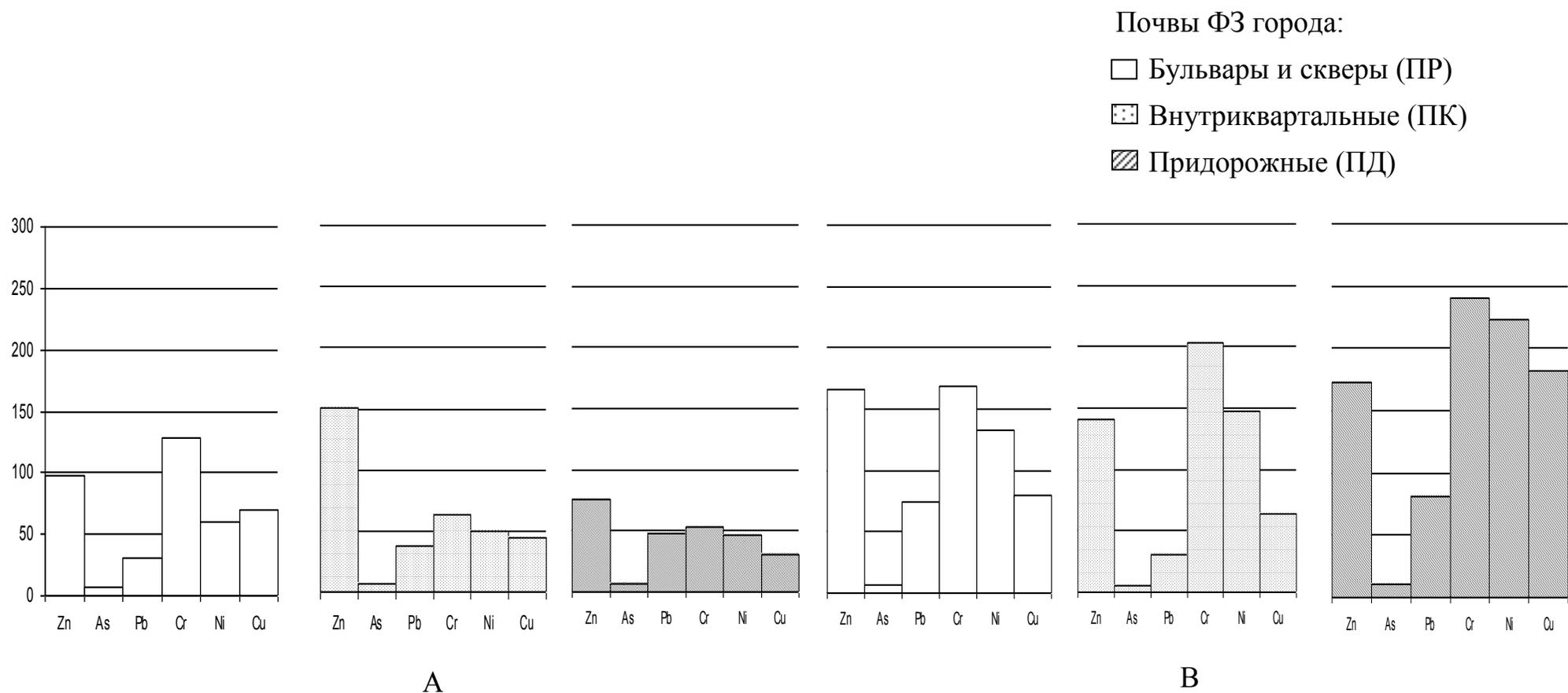


Рисунок 37 - Содержание ТМ и As в разномагнитных почвах функциональных зон (ФЗ) г. Перми:  
 А – низкомагнитные, В - высокомагнитные

Средние арифметические и медианные значения концентраций Zn, As, Ni, Cu, Pb, Cr в почвах с  $OMB > 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ превышают ПДК. В почвах с  $OMB < 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ концентрация Ni, Cu, Cr не превышают ПДК, а Ко для As составляет 3,55 (рис. 38). Таким образом, высокомагнитные почвы города одновременно загрязнены как ФМ, так и ТМ. Это согласуется с нашими результатами комплексного химико-минералогического анализа состава железосодержащей фазы почв г. Перми методами РФА и ЯГР-спектроскопии (табл. 39).

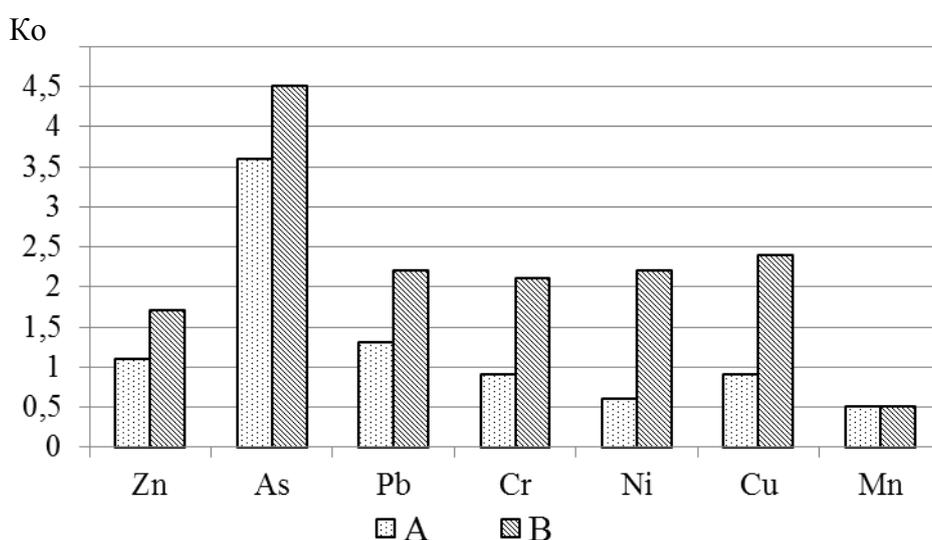


Рисунок 38 – Коэффициент опасности ТМ и As в низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почвах г. Перми

Градация центильного интервала «средняя» или «норма» характеризует диапазон наиболее часто встречающихся концентраций ТМ в почвах с разным уровнем ОМВ (табл. 46). Верхняя и нижняя граница «нормы» концентрации для всех ТМ значительно выше в высокомагнитных почвах. Наиболее существенные различия границ «нормы» концентраций между почвами с  $MB < 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ и  $MB > 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ выявлены для Ni и Cr. В почвах с  $MB > 1 \cdot 10^{-3}$  СИ значения верхней и нижней границы «нормы» Zn, As, Ni, Cu, Cr больше ПДК. Следовательно, высокомагнитные почвы города испы-

тывают устойчивое загрязнение данной группой опасных ТМ. В низкомагнитных почвах «норма» концентрации Zn, As, Pb, Cu и Cr превышают ПДК только в верхней границе интервала.

Таблица 46 – «Норма» содержания поллютантов в низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почвах г. Перми

ОМВ	Центиль	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu
А (< 1 *10 <sup>-3</sup> СИ)	25	65	5	17	48	35	31
	75	124	9	52	137	65	69
В (>1 *10 <sup>-3</sup> СИ)	25	102	5	23	103	93	59
	75	205	12	76	182	204	109
ПДК		100	2	32	100	85	55

Техногенность (Тф,%) ТМ и As, по S. Baron [270], в высокомагнитных почвах выше по всему геохимическому ряду (табл. 47).

Таблица 47. Ряды техногенности (Тф) ТМ и As для разномагнитных почв г. Перми

Уровень МВ	Ряды техногенности
<1*10 <sup>-3</sup> СИ	As85 > Sr79 > Pb69 > Zn65 > Ni64 > Cu63 > Ga59 > Mn56 > Rb55 > Y54
>1*10 <sup>-3</sup> СИ	As86 > Ni85 > Sr80 > Zn77 > Cu74 > Pb72 = Cr72 > Mn63 > Ga61 > Rb55 > Y55

Наиболее существенные различия (11-12%) в рядах техногенности разномагнитных почв установлены для Ni, Zn и Cu. В почвах с МВ > 1,0\*10<sup>-3</sup> СИ техногенность Cr составляет 72%, а в низкомагнитных почвах Cr не является техногенным (Тф Cr < 50%).

Качественная оценка различий техногенности была проведена по показателю встречаемость элемента (В, %) по градациям центильных интервалов. В высокомагнитных почвах встречаемость Ni, Cu, Pb, Cr, Zn в градациях «выше средней», «высокая» и «очень высокая» составляет, соответственно: 7-

33%, 8-22%, 6-21%, 4-21%, 7-21% (табл. 48). Для высокомагнитных почв в градации «очень низкая» встречаемость Zn, Ni, Cu, Pb равна 0, в градации «низкая» не встречаются Ni и Zn, Cu, а для Pb и Cr встречаемость составляет всего 1 и 4% соответственно.

Таким образом, встречаемость (В, %) поллютантов Ni, Cu, Pb, Cr, Zn в высокомагнитных почвах больше в верхних группах 5-7, чем в нижних 1-3 оценочной шкалы. В низкомагнитных почвах встречаемость Ni, Zn, Cu и Pb в градациях центильных интервалов «ниже средней», «низкая», «очень низкая» составляет 8-22%. В низкомагнитных почвах встречаемость Ni в градациях центильных интервалов «выше средней», «высокая» и «очень высокая» равна нулю. Среди низкомагнитных почв также отсутствуют образцы, в которых встречаемость Cu можно характеризовать как «высокая» и «очень высокая», встречаемость Zn и Cr «очень высокая».

*Суммарное загрязнение почв* оценено по трем расчетным показателям: коэффициент опасности валового содержания ТМ (К<sub>о вал.</sub>), коэффициент опасности подвижных форм ТМ (К<sub>о подв.</sub>), суммарный показатель загрязнения ТМ по Саегу (Z<sub>с Саег</sub>). Все суммарные показатели загрязнения (СПЗ) почв выше в высокомагнитных почвах (табл. 49, 50).

Таблица 48 - Встречаемость элемента (%) по градациям центильных интервалов концентрации ТМ в низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почвах г. Перми

МВ	Элемент,	Номер группы, градации центильных интервалов и концентрации элементов							Итого
		1 Очень низ- кая <5 %	2 Низкая 5-10 %	3 Ниже средней 10-25 %	4 Средняя «норма» 25-75 %	5 Выше средней 75-90 %	6 Высокая 90-95 %	7 Очень вы- сокая >95 %	
	<b>Zn, мг/кг</b>	<b>&lt;52</b>	<b>52-65</b>	<b>65-84</b>	<b>84-180</b>	<b>180-264</b>	<b>264-295</b>	<b>&gt; 295</b>	
А		12	12	22	40	10	0	2	100
В		0	0	10	54	21	8	7	100
	<b>Pb, мг/кг</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>10-13</b>	<b>13-20</b>	<b>20-65</b>	<b>65-104,5</b>	<b>104,5-133</b>	<b>&gt;133</b>	
А		14	4	18	50	10	2	2	100
В		1	1	17	47	21	6	7	100
	<b>Cr, мг/кг</b>	<b>&lt; 21</b>	<b>21-41</b>	<b>41-68</b>	<b>68-164</b>	<b>164-212</b>	<b>212-315</b>	<b>&gt;315</b>	
А		10	8	20	52	8	2	0	100
В		0	4	10	49	21	4	12	100
	<b>Ni, мг/кг</b>	<b>&lt; 25</b>	<b>25-35</b>	<b>35-51</b>	<b>51-151</b>	<b>151-238</b>	<b>238-308</b>	<b>&gt;308</b>	
А		10	14	22	54	0	0	0	100
В		0	0	8	42	33	7	10	100
	<b>Cu, мг/кг</b>	<b>&lt; 23</b>	<b>23-29</b>	<b>29-43</b>	<b>43-86</b>	<b>86-141</b>	<b>141-186</b>	<b>&gt;186</b>	
А		10	12	20	50	8	0	0	100
В		0	0	11	49	22	8	10	100

Жирным шрифтом выделены границы центильных интервалов концентрации ТМ для генеральной выборки, n=122

Таблица 49 - Статистические параметры суммарных показателей загрязнения разномагнитных почв г. Перми

$MВ \cdot 10^{-3}$ СИ	Показатель суммарного загрязнения	n	$M_1 \pm m$	lim	V, %
А. < 1,0	$\sum K_o$ вал.	50	7,1±3,0	1,1-20,3	56
	$\sum K_o$ подв.	11	2,8±1,1	1,71-5,53	49
	Zc Сагг	50	7,2±3,2	1,00-24,20	61
В. > 1,0	$\sum K_o$ вал.	72	13,3±6,7	3,5-84,9	91
	$\sum K_o$ подв.	16	5,2±2,5	2,41-13,64	61
	Zc Сагг	72	15,2±7,7	4,00-94,90	92

Таблица 50 - Оценка по t-критерию Стьюдента различий величин суммарного загрязнения низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почв г. Перми

	$\sum K_{o_{вал.}}$	$\sum K_{o_{подв.}}$	Zc
В-А	6,2	2,4	8,0
tфак	6,7*	7,7*	6,3*

В высокомагнитных почвах максимальное значение Zc по Саггу достигает 95, что характеризует опасный уровень загрязнения почв, в низкомагнитных почвах Zc по Саггу – допустимый.

*Взаимосвязь ТМ и Аs. Парная корреляция.* В почвах с  $MВ > 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ установлены приоритетные достоверные связи для 10 пар, а в почвах с  $MВ < 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ для 14 пар элементов (рис. 39). Цинк в почвах ассоциирован с Cu, Pb и As. В геохимических парах Zn-Cu, Zn-Pb, Cu-Pb тесные связи ( $r=0,5-0,6$ ) проявляются в высокомагнитных почвах, а в низкомагнитных связь в этих парах ТМ также достоверна, но на более низком уровне.

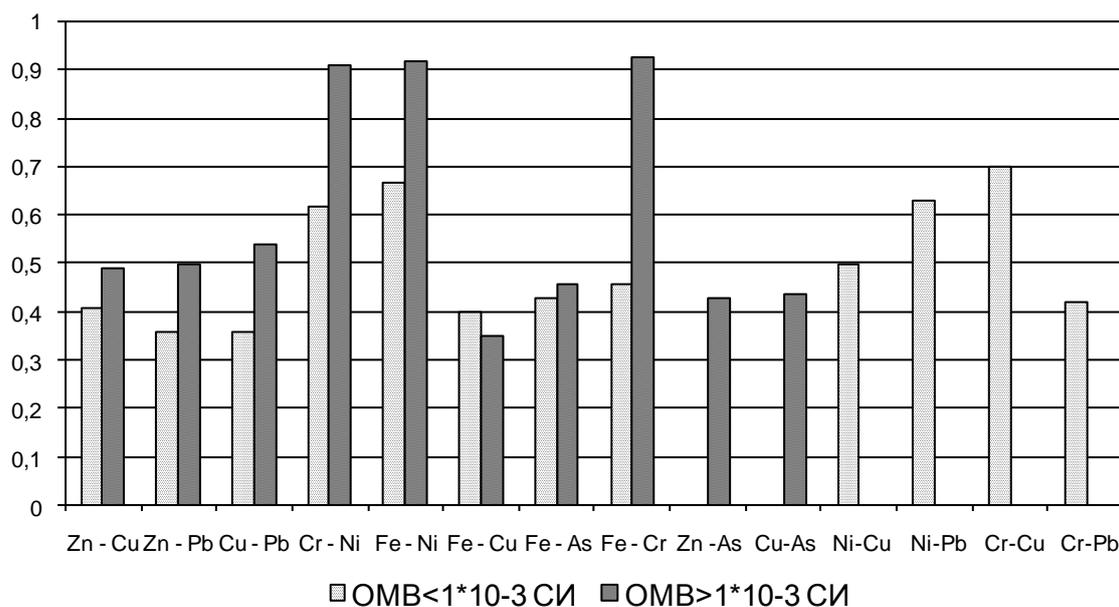


Рисунок 39 - Коэффициенты корреляции концентрации ТМ, As, Fe в разномагнитных почвах г. Перми, для всех пар сравнения  $t_{ф.} > t_{теор.}$

Железо образует тесные геохимические парные ассоциации с Ni, Cr, Cu, As. Наиболее высокой  $r$  по Спирмену ( $>0,9$ ) в парах элементов группы железа: Fe-Cr, Fe-Ni, Cr-Ni. В высокомагнитных почвах отсутствует достоверная связь в геохимических парах Ni - Cu, Ni - Pb, Cr - Cu, Cr - Pb (табл. 51), в низкомагнитных – Zn-As, Cu-As (табл. 52). На аккумуляцию ТМ оказывает влияние не только магнитная фаза, но и физико-химические свойства, гранулометрический состав, синергетические и антагонистические взаимодействия элементов. При полиметаллическом загрязнении почв корреляционные зависимости между элементами в почвах сильнее.

Таблица 51 – Корреляционная матрица валового содержания ТМ, As и магнитной восприимчивости в почвах г. Перми с  $OMB > 1 \cdot 10^{-3}$  СИ

	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Pb	Rb	Sr	Y	Zr	Cr	Ti	Fe	Mn
Ni	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	0,29	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0,17	0,49	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga	0,11	0,20	0,17	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	0,29	0,44	0,48	0,11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-0,07	0,54	0,50	0,43	0,25	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb	-0,33	-0,21	0,06	0,29	0,09	0,04	1	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-0,41	-0,11	-0,05	-0,15	-0,16	-0,11	0,37	1	-	-	-	-	-	-
Y	-0,11	-0,06	0,10	0,30	0,32	0,00	0,82	0,09	1	-	-	-	-	-
Zr	-0,20	0,03	0,12	0,42	0,25	0,23	0,80	0,12	0,83	1	-	-	-	-
Cr	0,91	0,29	0,17	-0,09	0,31	-0,05	-0,22	-0,35	-0,12	-0,20	1	-	-	-
Ti	-0,15	-0,04	0,16	0,41	0,19	0,22	0,89	0,17	0,84	0,83	-0,13	1	-	-
Fe	0,92	0,35	0,26	0,37	0,46	0,01	-0,04	-0,32	0,57	-0,02	0,93	0,08	1	-
Mn	0,70	0,29	0,30	0,12	0,51	0,06	0,18	-0,18	0,46	0,11	0,77	0,28	0,86	1
OMB	0,62	0,33	0,05	-0,09	0,35	-0,13	-0,43	-0,07	-0,17	-0,25	0,48	-0,25	0,52	0,34
УМВ	0,81	0,50	0,14	-0,06	-0,02	0,05	-0,49	0,10	-0,18	-0,11	0,59	-0,27	0,40	-0,07

Таблица 52 – Корреляционная матрица валового содержания ТМ, As и магнитной восприимчивости в почвах г. Перми с ОМВ < 1 \*10<sup>-3</sup> СИ

	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Pb	Rb	Sr	Y	Zr	Cr	Ti	Fe	Mn
Ni	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	0,50	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0,38	0,41	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga	0,33	0,06	0,05	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	0,29	0,00	0,25	0,03	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,63	0,36	0,36	0,18	-0,03	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb	0,33	0,32	0,19	0,52	0,25	0,00	1	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,16	0,29	0,19	0,36	0,04	0,02	0,66	1	-	-	-	-	-	-
Y	0,45	0,27	0,27	0,54	0,49	-0,01	0,81	0,49	1	-	-	-	-	-
Zr	0,32	0,26	0,24	0,48	0,28	-0,01	0,84	0,30	0,77	1	-	-	-	-
Cr	0,62	0,70	0,21	0,20	0,19	0,42	0,38	0,18	0,37	0,34	1	-	-	-
Ti	0,55	0,52	0,29	0,51	0,33	0,07	0,88	0,61	0,78	0,77	0,50	1	-	-
Fe	0,67	0,40	0,30	0,53	0,49	0,14	0,73	0,62	0,75	0,53	0,46	0,87	1	-
Mn	0,53	0,59	0,36	0,40	0,40	0,16	0,70	0,63	0,57	0,47	0,61	0,83	0,81	1
ОМВ	0,35	0,54	0,22	0,32	-0,20	0,41	0,15	0,17	0,12	0,15	0,46	0,23	0,24	0,29
УМВ	0,54	0,33	0,63	-0,01	0,00	0,73	-0,19	-0,21	-0,10	0,00	0,37	-0,08	0,00	-0,01

*Нормирование концентрации ТМ по Fe.* Тесная связь Fe и ТМ позволяет провести нормирование концентрации ТМ. Нормирование ТМ по Fe обычно используют для эколого-геохимической оценки донных отложений [178]. Для городских почв нормирование по Fe нами проведено впервые и рассчитано по формуле:

$$K_i = (X_{\text{пр}} / Fe_{\text{пр}}) / (X_{\text{кл}} / Fe_{\text{кл}}), \quad (11)$$

где  $K_i$  – коэффициент обогащения ТМ,  $X_{\text{пр}}$  – содержание ТМ в образце,  $X_{\text{кл}}$  – кларк ТМ для почв мира,  $Fe_{\text{пр}}$  – содержание железа в образце,  $Fe_{\text{кл}}$  – кларк для почв мира.

Региональные фоновые концентрации ТМ в почвах Предуралья выше кларка, что занижает оценку степени опасности по показателю  $Z_c$  (табл. 53). Более объективно загрязнение почв отражает показатель  $Z_{Fe}$ , рассчитанный через нормирование концентрации тяжелых металлов по железу:

$$Z_{Fe} = (K_i + \dots + K_n) - (n-1), \quad (12)$$

где  $K_i$  – коэффициент обогащения ТМ,  $n$  – количество элементов.

Для оценки суммарного показателя загрязнения  $Z_{Fe}$  предлагается использовать существующую шкалу Саета и соответствующие ей категории опасности.

В поверхностных горизонтах почв наиболее высокие нормированные отношения ТМ/ Fe выявлены для Pb 54,2, Cu 13,1, Ni 8,7, Zn 7,8, Cr 3,55. В почвах г. Перми  $Z_{Fe}$  изменяется в интервалах от 16-32 в низкомагнитных до 32-128 и более в высокомагнитных почвах, то есть характеризует, соответственно, умеренно опасную и опасную степень загрязнения почв города (табл. 53). Показатель  $Z_{Fe}$  позволяет достоверно различить низкомагнитные и высокомагнитные почвы.

Таблица 53 - Коэффициенты концентрации ТМ и As, нормированные по железу и суммарный показатель загрязнения ( $Z_{Fe}$ ) разномагнитных почв г. Перми

Образец	ОМВ* $10^{-3}$ СИ	Zn/ Fe	As/ Fe	Pb/ Fe	Cr/ Fe	Ni/ Fe	Cu/ Fe	Mn/ Fe	Sr/ Fe	Ga/ Fe	Rb/ Fe	Y/ Fe	Zr/ Fe	$Z_{Fe}$	Zc
А. Низкомагнитные почвы (ОМВ < $1 \cdot 10^{-3}$ СИ)															
Бульвар по ул. Сибирской	0,5	3,0	2,1	8,7	3,6	2,6	6,5	1,6	1,0	0,4	0,7	0,6	0,9	22	11
Сквер «Театральный»	0,5	4,5	2,1	11,6	2,9	2,2	5,9	1,6	1,4	0,5	0,7	0,6	0,6	25	8
Сад имени 250-летия г. Перми	0,8	3,0	1,8	6,0	3,0	2,7	6,0	1,3	1,0	0,4	0,5	0,6	0,5	18	6
Ул. Танкистов, 58	0,4	2,2	3,0	1,0	1,5	1,7	2,1	1,2	1,1	0,3	0,6	0,6	1,0	7	6
Ул. Липатова, 10	0,2	7,1	4,2	6,6	0,6	2,1	3,4	0,6	1,4	1,2	0,7	1,0	0,9	20	7
Ул. Гайдара, 6	0,2	3,0	-	3,4	0,4	2,3	2,9	1,1	1,2	0,4	0,6	0,7	0,9	9	4
Ул. Вильямса, 47	0,5	4,5	-	4,5	1,3	4,2	3,7	0,6	1,3	0,5	0,6	0,5	0,6	14	5
В. Высокомагнитные почвы (ОМВ > $1 \cdot 10^{-3}$ СИ)															
Ул. П. Осипенко, 56	9,7	4,3	-	5,8	4,1	8,7	12,7	1,5	0,9	0,3	0,3	0,5	0,8	32	13
Шоссе Космонавтов, 108	2,5	6,2	2,1	20,0	2,1	3,9	4,3	1,3	1,3	0,7	0,6	0,6	0,8	34	12
Ул. Уральская, 78	3,7	7,8	3,1	54,2	1,9	4,5	69,3	0,9	0,6	0,8	0,3	0,4	1,0	136	63
Ул. 25 Октября, 47	3,9	7,2	5,5	16,6	2,3	1,5	9,6	1,4	0,9	0,3	0,6	0,7	1,1	38	24
Ул. Трамвайная, 1	4,1	3,9	-	5,0	2,4	7,9	5,9	1,0	0,8	0,7	0,3	0,5	0,6	22	7
Ул. Одоевского, 38	4,4	3,5	1,8	4,3	1,3	7,4	5,0	1,0	1,1	-	0,5	0,8	0,7	18	6
Ул. Сибирская, 37	11,0	3,3	1,2	2,3	3,2	6,2	13,1	1,0	1,1	0,3	0,3	0,4	0,3	24	18
Ул. Весенняя, 11	3,2	5,9	-	7,0	1,8	4,5	5,0	1,2	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	20	11
Отношение кларков, $\cdot 10^{-3}$		1,32	0,13	0,26	1,84	1,05	0,53	2,24	7,89	0,79	2,63	1,05	7,89		

- данные отсутствуют

В почвах придорожных территорий и высокомагнитных  $Z_{Fe}$  достоверно выше, чем в почвах других функциональных зон и в низкомагнитных (табл. 54, 55).

Таблица 54 - Статистические параметры  $Z_{Fe}$  и оценка различий по t-критерию Стьюдента в почвах функциональных зон г. Перми

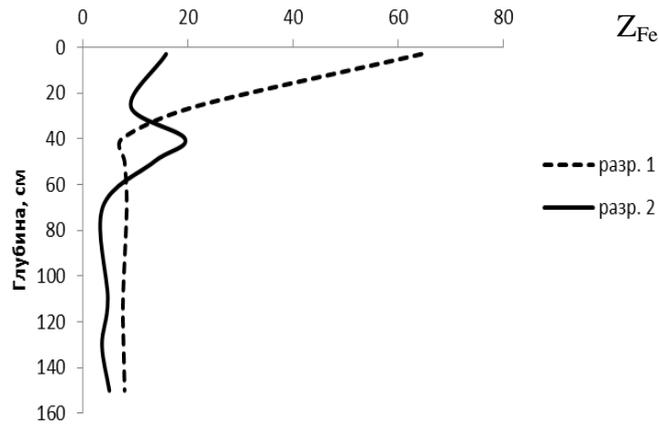
ФЗ	n	M±m	σ	lim	V, %	t факт для пар сравнения		
						ПР - ПК	ПД - ПР	ПД - ПК
ПР	48	21,6±8,5	10,9	1,9-52,3	51	1,9	2,9*	5,1*
ПК	24	18,7±7,0	8,6	6,8-38,0	46			
ПД	50	29,3±16,8	28,5	6,5-145	97			

Таблица 55 - Статистические параметры  $Z_{Fe}$  и оценка различий по t-критерию Стьюдента в низкомагнитных (А) и высокомагнитных (В) почвах г. Перми

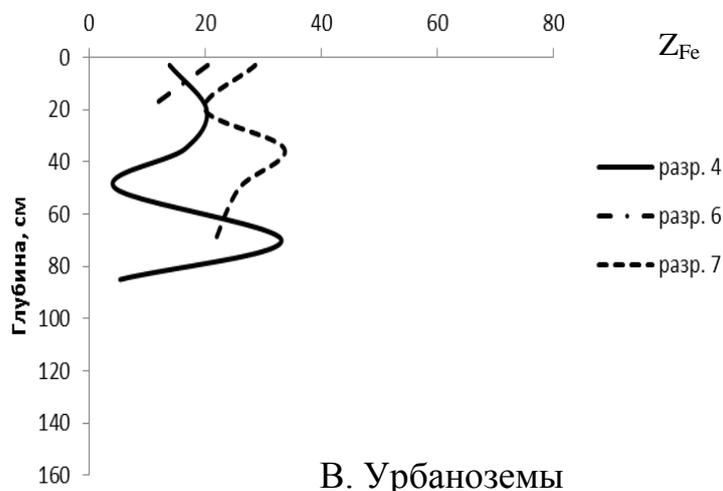
МВ*10 <sup>-3</sup> СИ	n	M±m	lim	V, %	В-А	tфакт
А (< 1,0)	50	16,8±8,0	1,90-69,00	66	12,4	3,5*
В (>1,0)	72	29,3±12,9	11,9-145,1	80		

Характер распределения  $Z_{Fe}$  в профиле агрозема, серогумусовой и дерново-подзолистых почвах аккумулятивный (рис. 40). В урбаноземах суммарный показатель загрязнения, нормированный по железу, выше в средней части профиля.

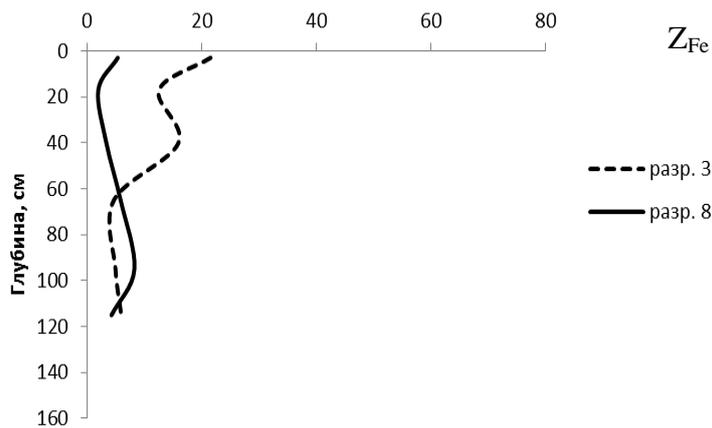
*Кластерный анализ.* Дендрограммы множественной связи ТМ и As в высокомагнитных и низкомагнитных почвах г. Перми свидетельствуют об образовании в них разных не только по составу ассоциаций химических элементов, но и по уровню их взаимосвязи в кластере (рис. 41).



А. Урбо-дерново-подзолистые почвы

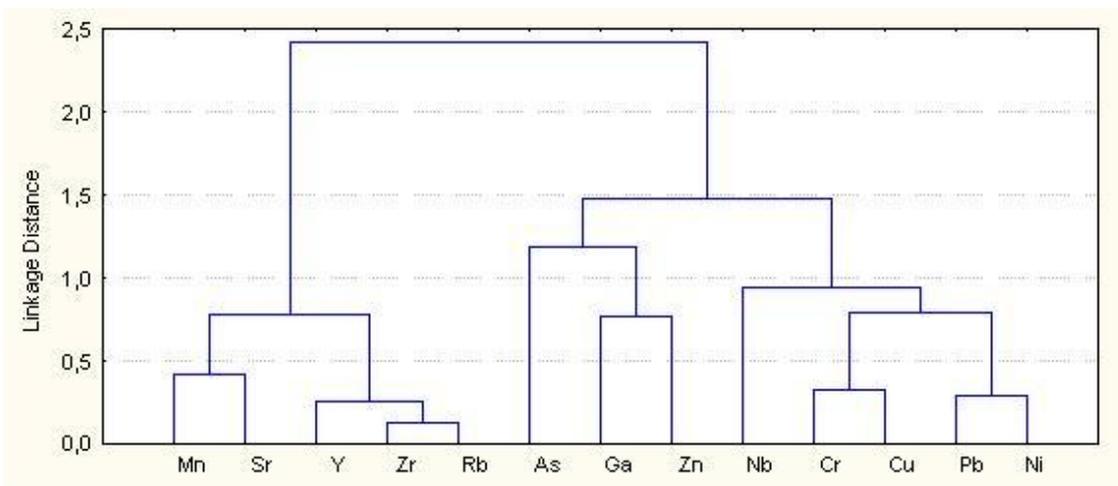


В. Урбаноземы

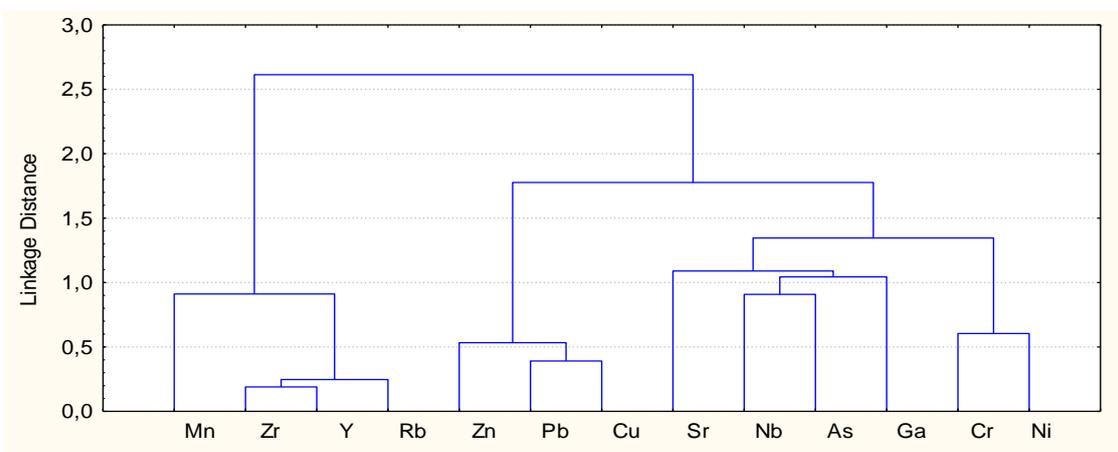


С. Агрозем и серогумусовая почвы

Рисунок 40 – Профильное распределение суммарного показателя загрязнения  $Z_{Fe}$  в почвах г. Перми



А. –  $OMB < 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ



В. –  $OMB > 1,0 \cdot 10^{-3}$  СИ

Рисунок 41 - Кластерный анализ взаимосвязи ТМ и As в разномагнитных почвах г. Перми: А – низкомагнитные, В - высокомагнитные

Уровень сходства в кластерах между поллютантами Zn-Pb-Cu и Cr-Ni выше в высокомагнитных почвах, чем в низкомагнитных. В высокомагнитных почвах кластер Cr-Ni более тесно ассоциирован с кластером Sr-As-Ga-Nb. С этой группой ТМ наиболее тесно связан кластер Zn-Pb-Cu. Марганец в высокомагнитных почвах г. Перми не связан с другими ТМ, а в низкомагнитных почвах он ассоциирован со стронцием. Вероятно, что Mn и Sr одновременно накапливаются в торфе и аккумулируются в низкомагнитных почвах после их рекультивации торфо-минеральными смесями. В высокомаг-

нитных почвах загрязнение Sr носит более выраженный техногенный характер.

Различия в геохимических ассоциациях ТМ и ФМ разномагнитных почв согласуются с преобладающим вкладом в магнитное и элементное химическое загрязнение почв выбросов промышленных и теплоэнергетических предприятий. Решающая роль производственной структуры города в загрязнении окружающей среды была установлена Ю.Е. Сае- том [206]. Сходство связи ТМ в низкомагнитных и высокомагнитных почвах проявляется в образовании кластера редкоземельных металлов, которые наиболее тесно ассоциированы с марганцем.

### 6.2.2 Оценка взаимосвязи концентрации химических элементов и величины магнитной восприимчивости

Оценка взаимосвязи концентрации химических элементов и величины МВ проведена по следующим показателям: а) парная корреляция валового содержания макроэлементов и МВ; б) парная корреляция валового содержания ТМ и МВ; в) кластерный анализ валового содержания ТМ и МВ; г) парная и множественная корреляция содержания подвижных форм ТМ и МВ; д) парная корреляция суммарных показателей загрязнения ТМ и МВ; е) регрессионный анализ зависимости валового содержания ТМ от УМВ.

*Парная корреляция валового содержания макроэлементов и МВ.* В поверхностных горизонтах почв г. Перми величина МВ достоверно связана с концентрацией Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и MgO (табл. 56).

Таблица 56 – Корреляция по Спирмену МВ и концентрации макроэлементов, серы в поверхностных горизонтах почв г. Перми, n=122

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
ОМВ	-0,13	-0,33	0,53*	-0,17	0,44*	0,56*	0,10	-0,11	-0,39*
УМВ	-0,21	-0,30	0,75*	-0,13	0,38*	0,62*	-0,01	-0,20	-0,38*

Взаимосвязь объясняется как магнитными свойствами соединений этих элементов (Fe), так и формой нахождения их соединений в почве. В нестехиометрическом магнетите/маггемите почв г. Перми происходит частичное изоморфное замещение  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$  на катионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и ТМ (Ni, Cr, Cu и др.). Одновременное нахождение Fe, Ca, Mg в составе ферритов городской пыли сопровождается ростом МВ почв с увеличением содержания в почве пыли с включениями техногенных компонентов. Высокий коэффициент корреляции между МВ и содержанием в почве Fe показывает, во-первых, что техногенная магнитоупорядоченная фаза (магнетит/маггемит и гематит) является ответственной за более высокое значение МВ, и, во-вторых, что эти соединения Fe преобладают в составе минералов железосодержащей фазы почвы. Высокая корреляция МВ и Fe также показывает, что отношение магнетит/маггемит и гематит в почве примерно постоянное [301].

С содержанием  $K_2O$  МВ почв города имеет достоверную отрицательную связь, а с другими макроэлементами проявляется тенденция отрицательной связи (табл. 56).

*Парная корреляция валового содержания ТМ и As с МВ.* Концентрации Ni, Cr, Cu в почвах города имеют положительную достоверную связь с величиной УМВ и ОМВ (табл. 57). Проявляется тесная связь концентрации в почвах Ni, Cr, Cu, Zn и величины УМВ, а с ОМВ коррелирует больше элементов – Ni, Cr, Cu, As, Mn. Концентрация Rb, Nb, Zr, Y не связана с накоплением в почве ферримагнетиков.

Заслуживает внимания связь Pb и Zn с МВ. Достоверно она проявляется только в низкомагнитных почвах. Очевидно, что эти элементы более тесно ассоциированы с диамагнитными органическими веществами почвы или парамагнитными гидроксидами Fe, чем с ферромагнитными техногенными магнетитом и маггемитом.

Таблица 57 - Коэффициенты корреляции между величиной МВ и концентрацией ТМ и Ас в разно-магнитных почвах г. Перми

	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Sr	Ga	Rb	Y	Zr	Nb	Σ**
Генеральная выборка, n=122														
ОМВ	0,23	0,38*	0,00	0,49*	0,67*	0,40*	0,32*	-0,04	0,02	-0,35	-0,09	-0,10	-0,10	0,9*
УМВ	0,34*	0,09	0,17	0,62*	0,85*	0,56*	0,01	0,01	-0,02	-0,32	-0,05	0,05	-0,2	0,7*
А. Низкомагнитные почвы														
ОМВ	0,22	-0,2	0,41*	0,46*	0,35*	0,54*	0,29	0,17	0,32*	0,15	0,12	0,15	0,26	0,4*
УМВ	0,63*	0,00	0,73*	0,37*	0,54*	0,33*	-0,01	-0,21	-0,01	-0,19	-0,1	0,00	-0,04	0,7*
В. Высокомагнитные почвы														
ОМВ	0,05	0,35*	-0,13	0,48*	0,62*	0,33*	0,34*	-0,07	-0,09	-0,43*	-0,17	-0,25	-0,22	0,4*
УМВ	0,14	-0,02	0,05	0,59*	0,81*	0,50*	-0,07	0,1	-0,06	-0,49*	-0,18	-0,11	-0,28	0,5*

\* - достоверно при P=0,95; \*\* - ΣNi+Cr+Zn+Pb+Cu

Диагностика загрязнения Zn, Pb и As почв г. Перми по величине УМВ и ОМВ не является однозначной. Отсутствие связи между величиной МВ и концентрацией отдельных ТМ отмечалось и в других исследованиях [148, 160, 256, 275, 294, 308, 315].

Таким образом, в почвах г. Перми МВ имеет наиболее существенное индикационное значение для выявления их загрязнения Ni, Cr и Cu. При оценке связи МВ с суммарной концентрацией ( $\Sigma$ ) Ni, Cr, Zn, Pb и Cu коэффициент корреляции увеличивается и составляет в парах сравнения  $\Sigma Ni+Cr+Zn+Pb+Cu - OMB$  и  $\Sigma Ni+Cr+Zn+Pb+Cu - УМВ$  0,6 и 0,7, соответственно. Увеличение индикационной значимости МВ при ее соотношении с суммарной концентрацией Ni, Cr, Zn, Pb, Cu ранее было установлено М.А. Гладышевой [60], О.А. Страдиной [224], Т. El-Hasan [283], так как в промышленных городах химическое загрязнение почв имеет поли-элементный характер.

*Кластерный анализ взаимосвязи* величины МВ и концентрации ТМ показал, что ферримагнитная фаза почв г. Перми образуют кластер с Ni, Cr (рис. 42). Этот кластер имеет более высокий уровень сходства с кластером Zn-Pb-Cu, чем с кластерами других ТМ. Среди изученных приоритетных поллютантов почв г. Перми наиболее высокий уровень сходства с величиной МВ имеет Ni, а затем Cr. Для кластера Zn-Pb-Cu уровень сходства с МВ значительно ниже. Другие изученные ТМ образуют второй крупный кластер. Между вторым и первым кластерами уровень сходства  $> 2,5$ , что свидетельствует о разных источниках ТМ в почвах города. Анализ множественной корреляции показывает, что марганец и мышьяк в почвах г. Перми ассоциирован с ферримагнитной фазой на низком уровне сходства.

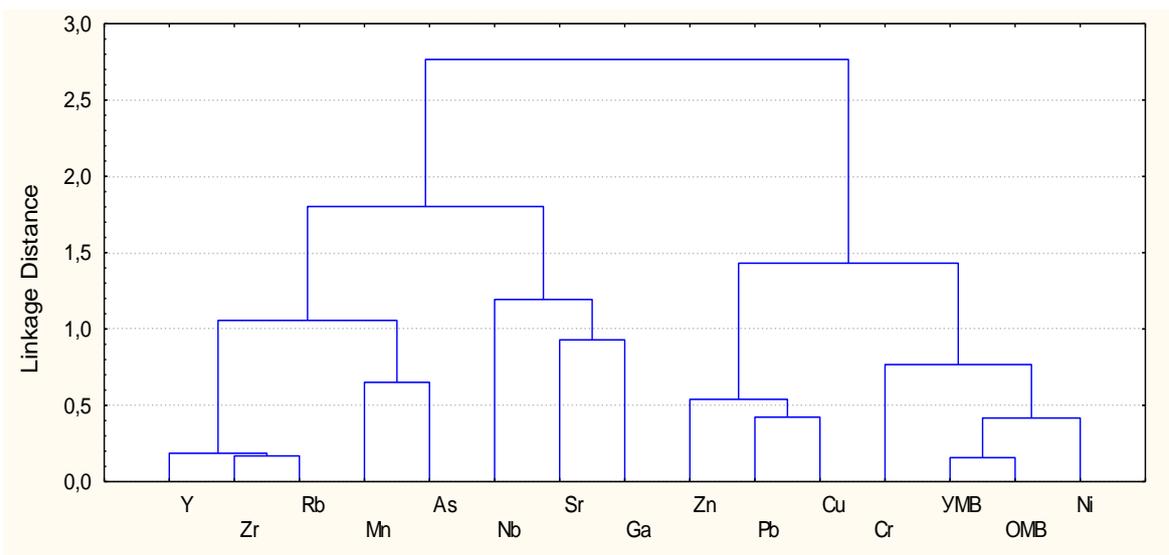


Рисунок 42 - Дендрограмма кластер-анализа микроэлементов и МВ почв г. Перми, n = 122

*Парная и множественная корреляция содержания подвижных форм ТМ и МВ. Содержание подвижных форм Ni, Cr и Cu достоверно связано с величиной ОМВ (табл. 58).*

Таблица 58 - Коэффициенты парной корреляции r по Спирмену концентрации подвижных форм ТМ, Fe и величины МВ в почвах г. Перми, n = 30

	Mn	Cr	Fe	Cu	Pb	Ni	ОМВ
ОМВ	-0,18	0,78*	0,25	0,43*	0,09	0,84*	1
УМВ	-0,18	0,77*	0,22	0,29	0,02	0,85*	0,96*

Удельная магнитная восприимчивость достоверно коррелирует с подвижными формами Ni и Cr. Связь ОМВ и УМВ в проанализированных образцах очень высокая ( $r=0,96$ ), что позволяет рекомендовать использование и полевых и лабораторных методов определения МВ для диагностики загрязнения почв города ТМ. Содержание подвижного Mn имеет обратную связь с МВ почв. Содержание подвижных форм Pb и Fe имеет слабую положительную связь с МВ.

Подвижные формы изученных химических элементов и ферримагнитная фаза почвы образуют два кластера: Fe-Cu-

Pb; Ni-Cr-УМВ-ОМВ (рис. 43). Подвижный Mn, как и его валовое содержание, в почвах г. Перми характеризуется низким уровнем сходства с другими ТМ. ОМВ и УМВ имеют высокий уровень сходства с подвижными формами Ni и Cr, но с подвижными формами Pb, Cu, Fe сходство незначительное.

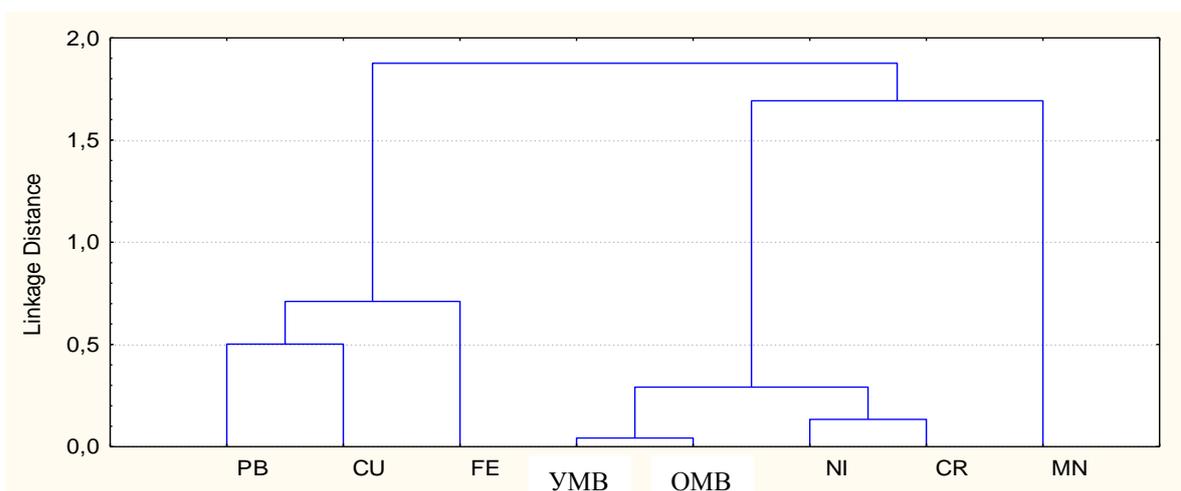


Рисунок 43 - Дендрограмма кластер-анализа содержания подвижных форм ТМ и Fe и величины МВ в почвах г. Перми, n =30

Таким образом, закономерности связи валового содержания ТМ с величиной МВ и связи концентрации подвижных форм ТМ с величиной МВ в почвах г. Перми совпадают.

*Парная корреляция суммарных показателей загрязнения ТМ и МВ.* Корреляционный анализ выявил достоверную положительную связь величины МВ с тремя показателями: суммарным коэффициентом опасности валового содержания ТМ ( $\sum K_{o\text{вал}}$ ), суммарным коэффициентом опасности подвижных форм ТМ ( $\sum K_{o\text{подв}}$ ), суммарным показателем загрязнения ТМ по Саету ( $Z_c$ ) (табл. 59).

Таблица 59 - Коэффициенты парной корреляции  $r$  по Спирмену между величиной МВ и суммарными показателями загрязнения почв г. Перми

	$\sum K_{\text{вал.}}$	$\sum K_{\text{подв}}^1$	$Z_c$
Генеральная выборка, n=122			
ОМВ	0,40*	0,83*	0,52*
УМВ	0,48*	0,75*	0,65*
А. Низкомагнитные почвы			
ОМВ	0,40*	-0,15	0,39*
УМВ	0,66*	0,64*	0,67*
В. Высокомагнитные почвы,			
ОМВ	0,30*	0,83*	0,43*
УМВ	0,40*	0,73*	0,60*

1 – для генеральной выборки n=30; для низкомагнитных почв n=16; для высокомагнитных почв n=24

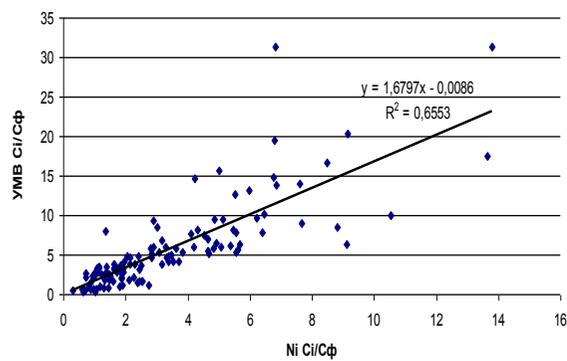
Регрессионный анализ зависимости концентрации ТМ от величины УМВ был проведен по нормированным к фону значениям, что позволяет исключить влияние литогенного фактора и учитывать только антропогенный фактор загрязнения городских почв ТМ. Фоновое значение УМВ  $34 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг соответствует МВ дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв Предуралья, не испытывающих техногенного воздействия [58, 175, 208, 224].

Для Ni и Cr уравнения регрессии характеризуются достоверным индексом корреляции, с высоко поднятой от оси X линией тренда (рис. 44А, табл. 60). Линии тренда для Zn и Cu более приближены к оси X, чем для Ni и Cr (рис. 45А). Для Zn и Cu регрессионная зависимость проявляется в большей степени в низкомагнитных почвах, а для Ni и Cr – в высокомагнитных (рис. 44, 45 В, С).

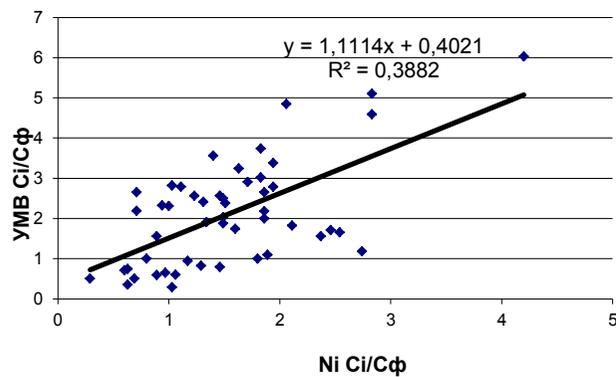
Таблица 60 - Корреляционные зависимости между нормированной концентрацией ТМ и УМВ в почвах г. Перми, n=122

Элемент	Форма корреляционной связи, формула	R <sup>2</sup>	Элемент	Форма корреляционной связи, формула	R <sup>2</sup>
Ni	$y = 1,6897x - 0,0086$	0,655	Zn	$y = 1,8961x + 2,1473$	0,106
Cr	$y = 3,9988x + 3,6471$	0,519	Pb	$y = 0,2505x + 4,9045$	0,031
Cu	$y = 0,7x + 4,5836$	0,119	Zc	$y = 0,442x + 1,5443$	0,427

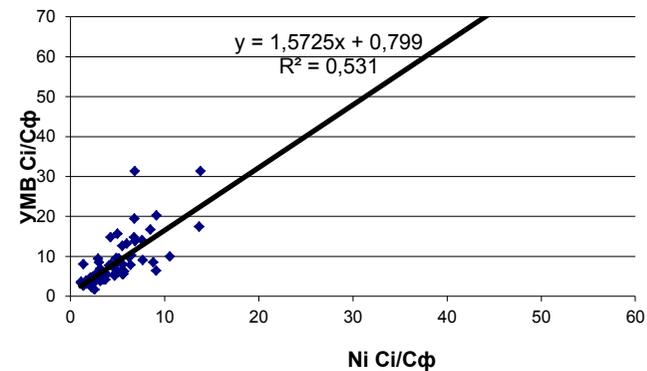
Регрессионный анализ подтвердил данные парной и множественной корреляции о том, что Ni и Cr связаны с магнитоупорядоченной фазой почвы в большей степени, чем Zn и Cu, а Pb имеет очень низкий уровень связи. В загрязненных ТМ почвах г. Перми Zn и Cu, вероятно, в большей мере входят в состав парамагнитных гидроксидов железа и хлоритов, чем в состав ферромагнетиков [184]. Возможно также вхождение катионов этих элементов в ППК почвы и их аккумуляция в органическом веществе.



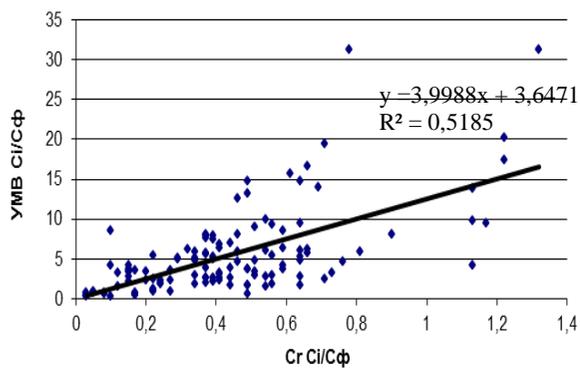
A



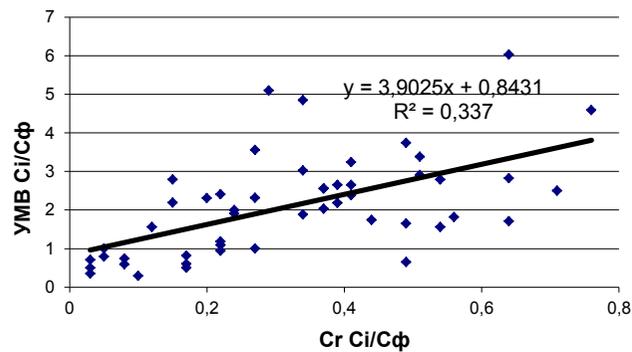
B



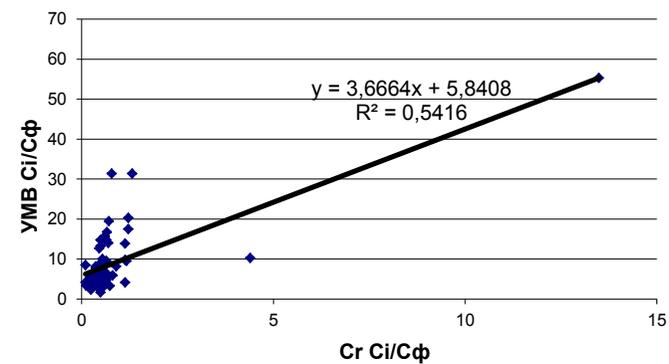
C



A

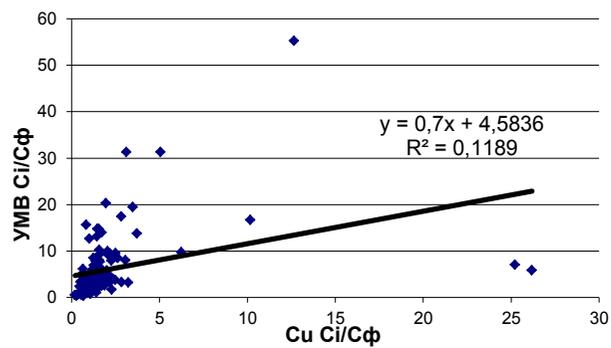


B

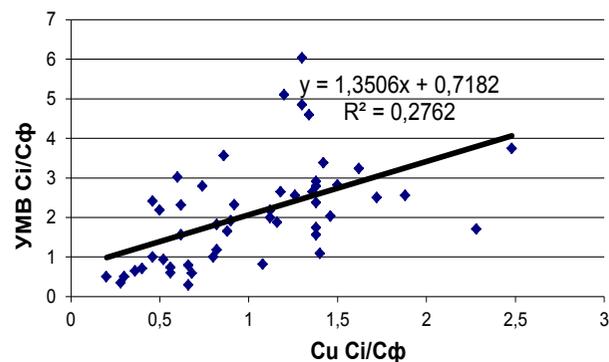


C

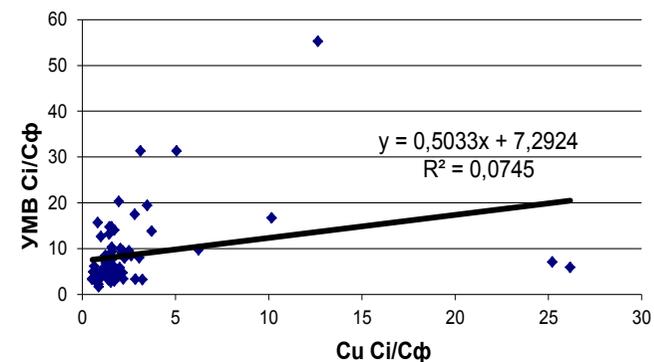
Рисунок 44 - Связь концентрации Ni, Cr и величины УМВ в почвах г. Перми: А – генеральная выборка (n=122), В – низкомагнитные почвы (n=50), С – высокомагнитные почвы (n=72)



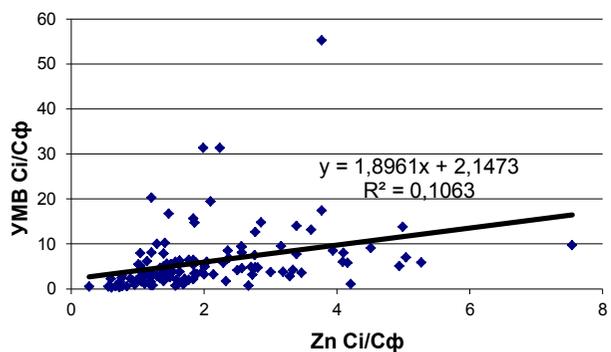
A



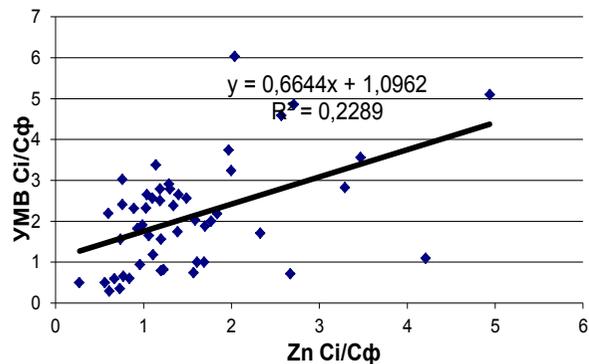
B



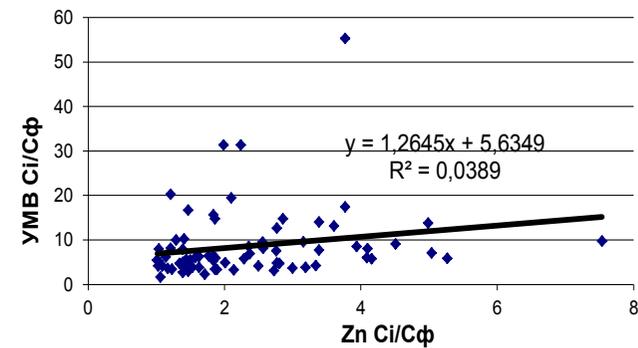
C



A



B



C

Рисунок 45 - Связь концентрации Cu, Zn и величины УМВ в почвах г. Перми: А – генеральная выборка (n=122), В – низкомагнитные почвы (n=50), С – высокомагнитные почвы (n=72)

Для суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$  по Саету) и величины УМВ уравнение регрессии характеризуется средним индексом корреляции, линия тренда приподнята от оси X, более чем для Zn и Cu (рис. 46).

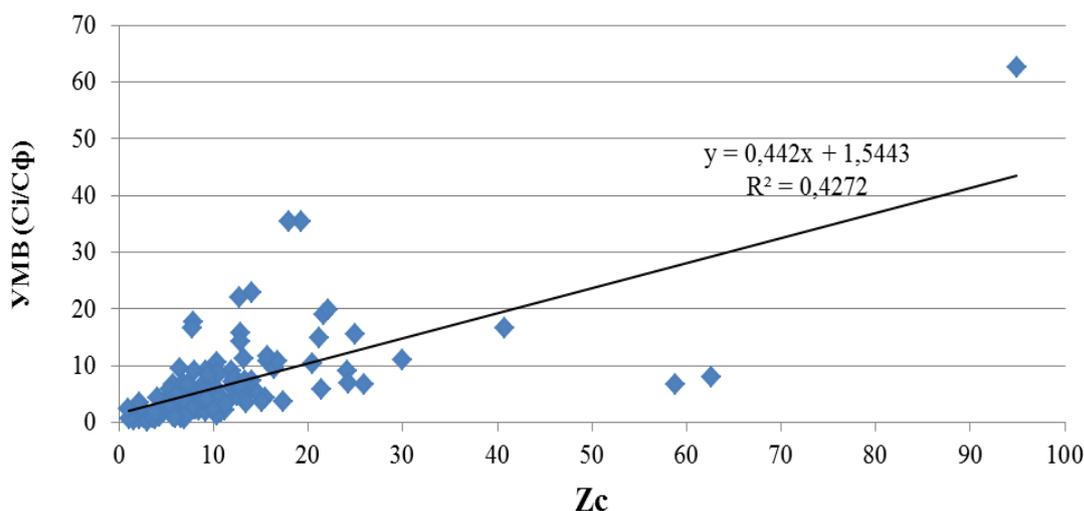


Рисунок 46 - Связь суммарного показателя загрязнения и величины УМВ в почвах г. Перми,  $n=122$

Высокая и достоверная связь МВ и концентрации Ni позволила создать детальную картосхему содержания Ni почвах г. Перми [27]. Для этого по уравнению регрессии  $Ni = 1,6897 \cdot MB - 0,0086$  был проведен расчет содержания Ni в точках измерения МВ. Объем исходной информации для построения картосхемы составил 2600 значений (рис. 47).

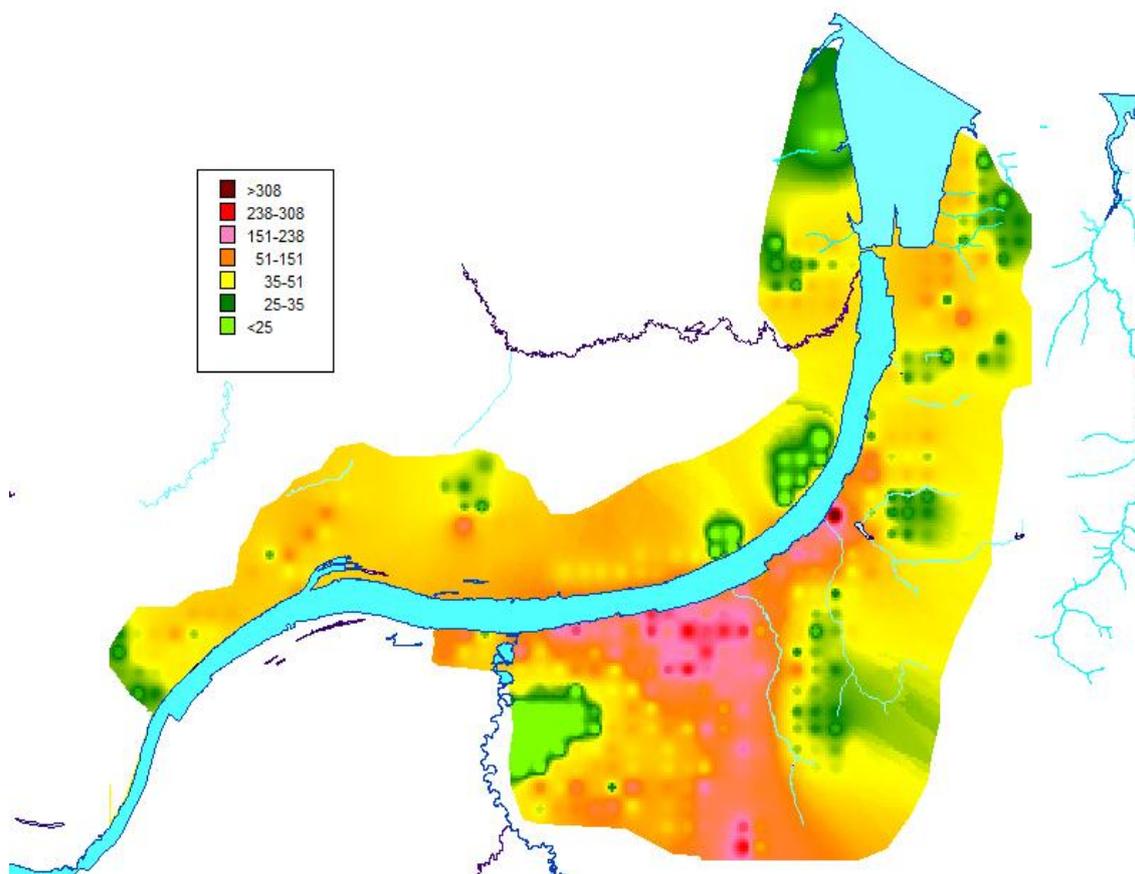


Рисунок 47 - Картограмма концентрации Ni в почвах г. Перми

Таким образом, корреляционно-регрессионный анализ выявил высокое индикационное значение величины MB для диагностики загрязнения почв Ni, Cr и для оценки суммарного показателя загрязнения (Zc). Аккумуляция в почвах техногенного нестехиометрического магнетита/маггемита сопровождается увеличением концентрации в почвах ТМ. В большей степени эта закономерность проявляется в высокомагнитных почвах. Соединения Zn, Cu, Pb и As связаны с ферромагнитной фазой почв в значительно меньшей степени, чем Ni и Cr.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сочетания высокой антропогенной нагрузки и геогенных условий на территории г. Перми сформировалась почвенная природно-техногенная магнитная аномалия. Фоновой величиной объёмной магнитной восприимчивости для почвенного покрова левобережной части г. Перми является значение  $0,5 \cdot 10^{-3}$  магнитных единиц СИ. Фоновая магнитная восприимчивость супесчаных и песчаных почв на первой и второй надпойменных террасах р. Камы составляет  $0,1 \cdot 10^{-3}$  единиц СИ. Магнитные профили урбо-дерново-подзолистых почв отражают аэральный характер накопления ферримагнитных соединений железа. В профилях урбаноземов МВ не имеет чётко выраженных закономерностей распределения, но проявляется тенденция поверхностной аккумуляции ФМ. Увеличение магнитной восприимчивости почв функциональных зон происходит в ряду: «почвы рекреации = почвы внутриквартальных территорий < почвы придорожных территорий». Аккумуляция высокомагнитных соединений более интенсивно протекает на расстоянии до 3 м от дорожного полотна.

Соотношение парамагнитных, антиферромагнитных и ферримагнитных компонентов в почвах определяет неоднородность МВ почвенного покрова г. Перми. Основной компонент ферримагнитной фазы почв г. Перми техногенный нестехиометрический магнетит/маггемит. Степень нестехиометричности магнетита/маггемита зависит от генезиса городских почв. Мартитизация техногенного магнетита сопровождается снижением его МВ.

Ландшафтно-функциональная и техногенная неоднородность распределения ферримагнитной фазы в почвенном покрове г. Перми является причиной формирования ареалов городских почв с разной степенью загрязнения Ni, Cr, Pb, As, Cu. Максимальная концентрация Ni, Cr, As, Pb происходит в

придорожных почвах улиц города с интенсивным движением автотранспорта.

В результате антропогенного воздействия концентрация Ca, Mg, S, Cl, P в почвенном покрове г. Перми значительно выше кларка и фона. Магний тесно ассоциирован с железосодержащей фазой почвы. Техногенность Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Ga, As и Sr в почвах города высокая и возрастает с увеличением МВ почв. Уровень загрязнения Zn, Pb, Cr, Ni, Cu и As части почвенного покрова г. Перми (более 25% площади) опасный, как по валовому содержанию ТМ, так и по содержанию подвижных форм Cr, Ni Pb, Cu. В высокомагнитных почвах уровень загрязнения выше, чем в низкомагнитных.

Суммарный показатель загрязнения почв ТМ, нормированный по железу ( $Z_{Fe}$ ) целесообразно использовать в качестве критерия эколого-геохимической оценки городских почв Предуралья. В почвах г. Перми  $Z_{Fe}$  изменяется в интервалах от 16-32 в низкомагнитных до 32-128 и более в высокомагнитных почвах, то есть характеризует, соответственно, умеренно опасную и опасную степень загрязнения почв города.

Экспресс-методы измерения МВ позволяют достоверно определить в почвах г. Перми концентрацию Ni, Cr, содержание их подвижных форм и суммарное валовое содержание ТМ в составе природно-техногенной геохимической ассоциации элементов – Ni+Cr+Zn+Pb+ Cu.

Для исключения влияния геогенного фактора оценку концентрации ТМ по величине МВ почв урбанизированных территорий восточной окраины Русской равнины необходимо проводить по их значениям, нормированным относительно фона.

По кратности превышения местного фона МВ [ФОН м] рекомендуется выделять низкомагнитные ( $< 2$  ФОН м) и высокомагнитные ( $>2$  ФОН м) почвы. Сильномагнитные почвы г. Перми следует диагностировать как химически загрязнённые.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

***MB*** – магнитная восприимчивость;

**OMB ( $\alpha$ )** – объемная магнитная восприимчивость,  $\cdot 10^{-3}$  СИ;

**УМВ ( $\chi$ )** – удельная магнитная восприимчивость,  $\cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг;

**$\chi_d$**  – магнитная восприимчивость диамагнетиков,  $\cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг;

**$\chi_f$**  – магнитная восприимчивость ферро(ферри)магнетиков,  $\cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг;

**$\chi_p$**  – магнитная восприимчивость парамагнетиков,  $\cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг;

**$\chi_a$**  – магнитная восприимчивость антиферромагнетиков,  $\cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг;

**$K\alpha$**  – коэффициент изменчивости магнитной восприимчивости почвы относительно материнской породы;

**$K\alpha_{св}$**  – коэффициент изменчивости магнитной восприимчивости почвы относительно фона;

**КМ** – коэффициент магнитности;

**S** – стехиометричность магнетита;

**C** – концентрация дефектов в структуре магнетита;

**ФМ** – ферримагнетики;

***ТМ*** – *тяжелые металлы*;

**$Z_{Fe}$**  – суммарный показатель загрязнения почвы тяжелыми металлами, нормированный по железу;

**СПЗ ( $Z_c$ )** – суммарный показатель загрязнения почвы тяжелыми металлами по Саету;

**В** – встречаемость тяжелых металлов в выборке образцов почв, %;

**Кд** – коэффициент дифференциации содержания элемента в профиле;

**$Kk_m$**  – кларк почв мира по Виноградному, %, мг/кг;

**$Kk_e$**  – кларк почв Европы, %, мг/кг;

**$Kk_{реп}$**  – среднее содержание тяжелых металлов в почвах реперных участков ФГУП ГЦАС Пермский, %, мг/кг;

**$Kk_{yф}$**  – условный местный фон для почв г. Перми, %, мг/кг;

**$Kk_{фр}$**  – региональный фон для почв Пермского края, %, мг/кг;

**$K_{к_{эт}}$**  – содержание химических элементов в эталонных подзолистых почвах лесных ландшафтов Пермского края, %, мг/кг;  
 **$K_o$**  – коэффициент опасности тяжелого металла;  
 **$K_{o_{вал}}$**  – коэффициент опасности тяжелого металла, установленный относительно валового содержания;  
 **$K_{o_{подв}}$**  – коэффициент опасности тяжелого металла, установленный относительно содержания подвижных форм;  
 **$\sum K_{o_{вал}}$**  – суммарный коэффициент опасности загрязнения почв тяжелыми металлами, установленный относительно валового содержания;  
 **$\sum K_{o_{подв}}$**  – суммарный коэффициент опасности загрязнения почв тяжелыми металлами, установленный относительно содержания подвижных форм;  
**ПДК** – предельно допустимая концентрация;  
**ОДК** – ориентировочно допустимые концентрации;  
**ПОП** – показатель обогащения тяжелыми металлами;  
**T** – техногенность, %;  
**T<sub>п</sub>** – профильная техногенность тяжелого металла, %;  
**T<sub>ф</sub>** – фоновая техногенность тяжелого металла, %;  
**ППК** – *почвенно-поглощающий комплекс*;  
**ЕКО** – емкость катионного обмена, мг-экв/100 г;  
**S** – сумма обменных оснований, мг-экв/100 г;  
**Нг** – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г;  
**V** – степень насыщенности основаниями, %;  
**pH<sub>KCl</sub>** – обменная кислотность почвы;  
**pH<sub>H2O</sub>** – актуальная кислотность почвы;  
**Сорг** – органический углерод, %;  
**M** – *среднее арифметическое значение*;  
**m ±** – отклонение от среднего арифметического значения;  
**σ** – ошибка среднего арифметического;  
**Lim** – предел значений признака;  
**V** – коэффициент вариации, %;  
**Md** – медиана;

**Mo** – мода;  
**P** – уровень значимости оценки результатов;  
**r** – коэффициент парной корреляции;  
**R<sup>2</sup>** – коэффициент детерминации;  
**ГИС** – геоинформационные системы;  
***ФЗ*** – *функциональная зона*;  
**ИЖЗ** – индивидуальная жилая застройка;  
**СХ** – земли сельскохозяйственного значения;  
**МНЗ** – многоэтажная застройка;  
**ПД** – почвы придорожных территорий;  
**ПК** – почвы внутриквартальных территорий;  
**ПР** – почвы рекреационных территорий (бульвары и скверы);  
**СИ** – система единиц физических величин, принятая в 11-й Генеральной конференции по мерам и весам (1960);  
**%** – процент;  
**км<sup>2</sup>** – квадратный километр;  
**м<sup>3</sup>/кг** – метр кубический на килограмм;  
**мг** – миллиграмм;  
**мг/кг** – миллиграмм на килограмм.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ\*

**Аномалия геохимическая** – отклонение содержания химического элемента от фонового или кларкового значения.

**Антиферромагнетики** – вещество, в котором спонтанно устанавливается антипараллельная ориентация элементарных магнитных моментов атомов или ионов. Имеют магнитную восприимчивость в интервале от 3 до  $430 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$  и представлены минералами гематитом, гетитом, ильменитом, а также Cr.

**Антропогенное загрязнение почв** – накопление в почве токсичных и вредных веществ, вызывающих деградацию почвенного покрова, изменение морфологии, ухудшение физико-химических и химических свойств почв в результате деятельности человека: промышленность, строительство, сельское хозяйство и др.

**Ареал почвы** – небольшой участок территории, на котором почвенный покров представлен одним разрядом почв.

**Аэральные выбросы** – выбросы предприятий промышленности и теплоэнергетики, автотранспорта, поступающие в атмосферу.

**Валовое содержание химического элемента** – содержание в почве химического элемента, входящего в состав всех имеющихся в почве соединений, %, мг/кг.

**Внутриквартальные территории** – функциональная зона города, территории, непосредственно примыкающие или ведущие к жилым домам, социально-бытовым, культурным объектам, места общего пользования и отдыха, подходы и подъезды, предназначенные для сообщения между домами или группами домов, составляющих квартал.

**Встречаемость элемента** – процент почвенных образцов приходящихся на каждый интервал содержания элемента (например, центильный).

---

\* Составлен с использованием материалов Словника [15]

**Высокомагнитные городские почвы** – почвы с магнитной восприимчивостью, превышающей фоновое значение в два и более раз. Для г. Перми почвы с магнитной восприимчивостью более  $1 \cdot 10^{-3}$  СИ.

**Геохимическая оценка почвенного покрова** – анализ содержания, распределения и взаимосвязи химических элементов в почвах на внутрипрофильном и территориальном уровнях.

**Геохимические ассоциации элементов** – группа химических элементов тесно связанных друг с другом.

**Геохимические ряды** – ряды химических элементов, рассчитанные относительно постоянных констант (кларк почв мира по Виноградову, Беусу и др., кларк почв Европы и т.д.), и расположенные в порядке убывания или возрастания их значений.

**Геохимический фон** – свойственные для участка характеристики распределения химических элементов в почвах, химический состав которых не подвержен техногенному воздействию.

**Гетерогенность** – разнородность, неоднородность.

**Гидроксиды железа** – минералы железа: ферригидрит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{FeOOH} \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ , ферроксигит  $\delta\text{FeOOH}$ , лепидокрокит  $\gamma\text{FeOOH}$  и гетит  $\alpha\text{FeOOH}$ . Гидроксиды являются парамагнетиками.

**ГИС-технологии** – технологическая основа географических информационных систем, которая заключается в воде, обработке и выводе пространственных координированных данных в компьютерной среде.

**Гистограмма** – столбчатая диаграмма, один из видов графического изображения статистического распределения каких-либо величин по количественному признаку.

**Городские почвы** – антропогенно-измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности, полученный перемешиванием, насыпанием, погребением

или загрязнением материалом урбаногенного происхождения, в том числе строительно-бытовым мусором.

**Городской ландшафт** – ландшафт городской среды, состоящий из взаимодействующих природных и антропогенных компонентов, формирующийся под влиянием природных процессов или деятельности человека, а также созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов. Одним из важных компонентов городского ландшафта являются городские почвы

**Деграция** – процессы, ухудшающие плодородие почв и их качество; в широком смысле – процессы ухудшения состояния земель.

**Дендрограмма** – древовидная диаграмма, содержащая  $n$  уровней, каждый из которых соответствует одному из шагов процесса последовательного укрупнения кластеров. Она позволяет изобразить взаимные связи между объектами из заданного множества.

**Диаманетики** – вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля. В отсутствие внешнего магнитного поля диаманетики немагнитны. Величина магнитной восприимчивости для них составляет от  $-0,1$  до  $-0,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ . К этой группе относятся минералы ортоклаз, кальцит, кварц, гипс, галит, а также вода, органическое вещество, S, Cu, Zn, Pb, As.

**Дорожно-транспортное загрязнение** – процесс поступления и накопления загрязняющих веществ при эксплуатации транспортных средств и дорожного полотна.

**Железосодержащая фаза** – минеральная часть почвы, содержащая в своем составе железо.

**Загрязнение антропогенное** – изменение окружающей среды, вызванное прямым или косвенным воздействием человека и его производственной деятельности, которое приводит к отрицательным последствиям, часто опасным для здо-

ровья людей. Загрязнение антропогенное классифицируют по характеру проявления: физическое (электромагнитное, радиоактивное, тепловое и др.), химическое (нефтяное, тяжелыми металлами, легкорастворимыми солями), биологическое (микробное), механическое (замусоривание). По величине территории, охватываемой загрязнением, различают глобальное, региональное, локальное, точечное; по источникам загрязнения – промышленное, сельскохозяйственное, транспортное и др.

**Загрязнение почв химическое** – изменение их химического состава в результате антропогенной деятельности, способное вызвать ухудшение качества почв. Оно относится, в соответствии с причиной возникновения, к техногенным негативным процессам. Загрязнение влияет на экологическое состояние городских почв, так как ухудшает возможность их освоения в соответствии с целевым назначением

**Загрязнение локальное** – загрязнение на ограниченных территориях, вызванное точечными источниками загрязнения: свалками, складами химических веществ и др.

**Загрязненные почвы и грунты** – почвы и грунты, в которых количество загрязняющих веществ находятся на уровне или выше предельно допустимых количеств (ПДК или ОДК).

**Загрязняющее вещество (токсичное вещество, опасное вещество, вредное вещество, примесь, поллютант)** – вещество, способное причинить вред здоровью людей или окружающей среде. В законах ряда стран (США, ФРГ, Канада, Япония, Россия) устанавливаются конкретные загрязняющие вещества, выбросы которых следует контролировать и содержания которых, при превышении установленных для них нормативов рассматриваются как загрязнение.

**Земельный участок города** – часть поверхности земной коры, имеющая фиксированную площадь, местоположение, правовой статус, и используемая в интересах города.

**Изоморфизм** – способность атомов, ионов или молекул замещать друг друга в кристаллической решётке минерала.

**Интенсивность движения автотранспорта** – среднесуточная интенсивность движения. Среднесуточная интенсивность движения представляет собой частное от деления количества транспортных средств за определенный период на количество дней в данном периоде.

**Интерполяция** – приближенное или точное нахождение значений какой-либо величины по ряду известных значений.

**Каппаметрия** – полевой метод измерения магнитной восприимчивости почв, пород и др.

**Картографирование почвы** – составление почвенных карт или картосхем отдельных их свойств.

**Картосхема** – карта с упрощенно-обобщенным изображением элементов содержания (например, состава и свойств почв), которая наглядно и функционально представляет сколь угодно сложные географические данные.

**Кларк** – среднее содержание химического элемента в почвах мира, Европы, государства, региона и др., выраженное в мг/кг или %.

**Кластерный анализ** – многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы.

**Корреляция** – статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин. При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин. Математической мерой корреляции двух случайных величин служит корреляционное отношение, либо коэффициент корреляции.

**Коэффициент детерминации** ( $R^2$  - R-квадрат) – доля дисперсии зависимой переменной.

**Культурный слой** – слой земли на месте поселения человека, сохраняющий следы деятельности людей. В зависимости от продолжительности жизни людей в поселении и их деятельности, толщина слоя меняется от нескольких сантиметров до 30-35 метров. Культурный слой - почвообразующая порода для городских почв.

**Ландшафт** – природный географический комплекс, определяемый как сравнительно небольшой специфичный и однородный участок земной поверхности, ограниченный естественными рубежами, в пределах которых природные компоненты находятся в сложном взаимодействии и приспособлены друг к другу.

**Маггемит ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ )** – ферримагнетик, один из наиболее распространенных магнитных минералов зоны окисления (выветривания), поэтому широко используется в магнитных исследованиях зон выветривания и гидротермальных изменений как высокочувствительный индикатор низкотемпературного окисления.

**Магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )** – ферримагнетик, широко распространённый минерал чёрного цвета из класса оксидов, имеет изометрическое кристаллическое строение и относится к типу шпинели. Техногенный магнетит – индикатор загрязнения почв тяжелыми металлами.

**Магнитная восприимчивость почвы** – физическое свойство почвы, которое характеризует способность почвы намагничиваться во внешнем магнитном поле. Зависит от содержания и состава диа-, пара-, анти-, ферримагнетиков.

**Магнитная оценка почвенного покрова** – оценка почвы по результатам изучения магнитных свойств почв: магнитная восприимчивость, остаточная намагниченность и другие, на внутрипрофильном и территориальном уровнях.

**Магнитный профиль** – распределение магнитной восприимчивости по профилю почвы.

**Магнитометрия** – метод изучения магнитной восприимчивости почв, грунтов, пород и ее аномалий.

**Макроэлементы** – химические элементы или их соединения, содержащиеся в почве в сравнительно больших количествах: кремний, алюминий, железо, калий, кальций, магний, натрий, фосфор, сера, хлор, кислород, водород, углерод, азот и др.

**Мартитизация магнетита** – процесс окисления магнетита, протекающий с замещением катионов железа на катионы кальция, магния и др. в его структурной решетке.

**Медианное значение** – среднее значение в последовательности выстроенных по порядку значений относительно ее начала и конца.

**Мессбауэровская спектроскопия или метод ядерного гамма-резонанса** – позволяет определить виды и количество минералов железа и др. в образце почвы. Основан на эффекте Мессбауэра, который заключается в резонансном поглощении без отдачи атомным ядром монохроматического  $\gamma$ -излучения, испускаемого радиоактивным источником.

**Микроэлементы** – химические элементы, находящиеся в почве в количествах ниже 0,1%. К микроэлементам обычно относят: В, F, P, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Ba, W, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Ra, U.

**Мониторинг** – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния окружающей природной среды, в том числе почв и почвенного покрова, под влиянием антропогенных воздействий.

**Негативные процессы на городских землях** – комплекс динамических природных и антропогенных явлений, приводящих к отрицательным изменениям состояния городских земель, ухудшению их качественных и количественных характеристик, показателей, параметров, а также к несоответствию городского земельного фонда требованиям освоения, снижению эффективности использования и степени ос-

воения городских земель и, в конечном итоге, к снижению стоимости земель.

**Нестехиометричность магнетита** – отклонение от стехиометрии, в результате замещения в решетке магнетита части катионов железа на катионы других металлов. Для магнетита параметр нестехиометричности – отношение площадей сикстет ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  в В-подрешетке и А-подрешетке, больше или меньше двух.

**Низкомагнитные городские почвы** – почвы с магнитной восприимчивостью на уровне ниже двух фоновых значений. Для г. Перми почвы с магнитной восприимчивостью менее  $1 \cdot 10^{-3}$  СИ.

**Норма («норма»)** – установленный стандарт содержания химического элемента, величины магнитной восприимчивости и др. в почвах. Соответствует центильному интервалу 25-75%.

**Обменные катионы** – катионы почвенно-поглощающего комплекса, в том числе тяжелых металлов, которые могут быть замещены в эквивалентных соотношениях, взаимодействуя с почвенным раствором.

**Оксиды железа** – минералы железа: гематит  $\alpha Fe_2O_3$ , магнетит ( $Fe_3O_4$ ) и маггемит ( $\gamma Fe_2O_3$ ). Обладают антиферромагнитными и ферримагнитными свойствами

**Ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК)** – гигиенический норматив (временный), аналогичный ПДК.

**Охрана почв** – система мер, направленная на предотвращение деградации, снижения плодородия почв, их нерационального использования и загрязнения.

**Парамагнетики** – вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении внешнего магнитного поля ( $J \uparrow \uparrow H$ ) и имеют положительную магнитную восприимчивость. Парамагнетики относятся к слабомагнитным веществам и характеризуются интервалом значений магнитной восприимчивости от 1,1 до  $200 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ . К ним

относятся минералы доломит, мусковит, биотит, сидерит, пирит, хлорит, а также химические элементы – Ca, Mg, Ti, Mn, Rb, Sr, Ba, La.

**Пермская геологическая система** – шестая (последняя) система палеозойской эратемы, соответствующая 6-му периоду палеозойской эры истории Земли. В стратиграфической шкале следует за каменноугольной и предшествует триасовой системе мезозойской эратемы. По радиометрическим данным, пермский период начался  $280 \pm 10$  млн. лет и закончился  $235 \pm 10$  млн. лет назад, продолжительность периода около 45 млн. лет. Расположена на восточной части Русской плиты и западном склоне Урала. В осевой части Предуралья развиты маломощные глинистые известняки, представляющие более глубоководные отложения. Ещё далее к востоку, от западного склона Урала, докунгурские отложения представлены мощными терригенными песчано-глинистыми и грубообломочными толщами – продуктами разрушения молодого Уральского хребта. Кунгурский ярус на востоке Восточноевропейской платформы образован доломитами, ангидритами и гипсами, а в Предуральском прогибе – мощной соленосной толщей. На западном склоне Урала представлен песчано-глинистыми отложениями. Продукты выветривания Пермской геологической системы являются материалом для формирования почвообразующих пород и почв Пермского края. Особенностью минералогического и химического состава отложений Пермской системы и продуктов выветривания является обогащенность аутигенными минералами, унаследованными от горных пород Уральского хребта: магнетит, титаномагнетит, хромшпинелид и другие, которые имеют высокую магнитную восприимчивость и повышенное содержание тяжелых металлов Ni, Cr, Cu и др.

**Подвижные формы тяжелых металлов (ТМ)** – формы ТМ, наименее прочносвязанные с почвой. Извлекают ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8.

**Поллютанты** – техногенные загрязнители почв.

**Потенциально токсичные элементы** – составляют обширную и весьма опасную в токсикологическом отношении группу веществ. К ним относят следующие элементы: Hg, Pb, Cd, As, Sb, Sn, Zn, Be, Cu, Ba, Cr, Tl, Ni, Mn.

**Почвенный покров** – совокупность почв, покрывающих земную поверхность.

**Почвообразование** – это комплекс процессов, физически и биохимически преобразующих исходную горную породу в почву. Конечным итогом почвообразования является формирование полно развитого почвенного профиля.

**Предельно-допустимая концентрация (ПДК)** – гигиенический норматив, концентрация вещества в водной или воздушной среде, почве, продуктах питания, которая не должна оказывать негативных воздействий на сопредельные среды, на организм человека.

**Придорожные почвы (roadside soils)** – почвы, расположенные вдоль проезжей части дорог.

**Придорожные территории** – функциональная зона города, территории, расположенные вдоль проезжей части улиц.

**Природная геохимическая аномалия** – повышенное или пониженное относительно природного фонда содержание химических элементов в биогеоценозе, возникшее в результате естественных геолого-геофизических процессов (например, месторождения, рудопроявление, выходы газов и т.д.).

**Природно-техногенное загрязнение** – накопление в почве токсичных веществ от промышленных, транспортных и природных источников.

**Природный ландшафт** – природный географический комплекс, в котором все основные компоненты (рельеф, кли-

мат, воды, почвы, растительность и животный мир) находятся в сложном взаимодействии и взаимообусловленности, образуя однородную по условиям развития единую неразрывную систему.

**Промышленный источник загрязнения** – источник загрязнения почвы, обусловленный деятельностью промышленных и энергетических предприятий.

**Рекреационные территории** – функциональная зона города, территории, используемые для различных видов и форм рекреационной деятельности человека: парки, скверы и др.

**Рекультивация городских почв** – комплекс мероприятий, направленных на восстановление продуктивности нарушенных земель, а также на улучшение условий городской среды.

**Реперный участок** – это отдельный участок площадью не более 40 га и не менее 4 га, типичный для данного региона. Предназначен для мониторинга почв и почвенного покрова.

**Ретроспективно-аналогичные ландшафты** – городские ландшафты соответствующие определенным природным ландшафтам в прошлом.

**Санитарно-гигиеническое нормирование** – разработка нормативов антропогенного воздействия на окружающую человека природную среду и нормативов качества окружающей среды на основе санитарно – гигиенического подхода (т.е. соблюдения санитарно – гигиенических норм, рассчитанных на человека).

**Санитарно-защитная зона** – обычно часть территории, обладающая свойствами экологического барьера и пространственно разделяющая источники неблагоприятных экологических воздействий и возможные объекты этих воздействий; полоса насаждений вокруг промышленного предприятия.

**Санитарное состояние почв** – совокупность физико-химических, химических и биологических свойств почвы, ко-

торые обуславливают ее непосредственное влияние на здоровье животных и человека.

**Селитебная зона** (жилая зона) – место размещения жилых домов в населенном пункте, где запрещено строительство предприятий и объектов, загрязняющих окружающую среду.

**Среднее Предуралье** – территория равнинной части Пермского края и Удмуртии.

**Степень нестехиометричности магнетита (S)** – мессбауэровский параметр, который определяется по степени отклонения от двух единиц отношения площадей сикстет ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  в В-подрешетке и А-подрешетке мессбауэровского спектра магнетита.

**Стехиометричность** – это определённое соотношение компонентов, необходимое для существования данного соединения.

**Структура почвенного покрова (СПП)** – его пространственная неоднородность на локальном уровне, которая выражается в частой смене небольших по площади ареалов почв, образующих определенный рисунок почвенного покрова.

**Суммарный показатель загрязнения (СПЗ, Zc)** – сумма коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей. Предложен Ю.Е. Саетом.

**Техногенез** – процесс изменения природных комплексов и биогеоценозов под воздействием производственной деятельности человека.

**Техногенная нагрузка** – степень воздействия человеческой деятельности на окружающую среду, условно подразделяющаяся на допустимую (с соблюдением ПДК) и экологически опасную.

**Техногенное загрязнение почв** – привнесение в почвы или возникновение в них новых, как правило, не характерных для них компонентов-загрязнителей, оказывающих вредное воздействие. Происходит в результате техногенной деятель-

ности человека (промышленность, автотранспорт, строительство и др.).

**Техногенность тяжелых металлов** – доля техногенного тяжелого металла в процентах от его валового содержания в почве.

**Токсичность** – свойство почв угнетать рост и развитие растений в результате образования и накопления в ней токсичных веществ извне.

**Техногенные факторы** – преобладающая часть антропогенных факторов, обусловленные техногенезом; факторы среды, возникшие в результате производственной деятельности человека – изъятия природных ресурсов, преобразования ландшафтов и загрязнения окружающей среды.

**Техноземы** – искусственные почвоподобные тела, состоящие из одного или нескольких насыпных слоев природного или техногенного грунта с поверхностным плодородным слоем. Техноземы функционируют как почвы. Создаются целенаправленно при рекультивации.

**Техносфера** – «техническая оболочка» - искусственно преобразованное пространство планеты, находящиеся под воздействием производственной деятельности человека и ее продуктов.

**Технофильность химических элементов** – отношение ежегодной добычи химического элемента к его кларку в земной коре. Колеблется в миллионы раз – от  $11 \times 10^{11}$  у углерода до  $1 \times 10^3$  у иттрия.

**Токсичность почв** – свойство почв угнетать рост и развитие растений в результате образования и накопления в ней токсичных продуктов метаболизма микроорганизмов и растений, либо из-за попадания в почву токсичных веществ извне (тяжелых металлов, например) или зараженности радионуклидами.

**Токсичность химических веществ** – способность некоторых химических элементов, соединений и биогенных

веществ оказывать вредное действие на организмы (человека, животных, растения, грибы, микроорганизмы).

**Токсичные элементы** – химические элементы, которые могут отрицательно повлиять на рост и развитие живых организмов, на физиологические процессы; отрицательное влияние начинает проявляться только при достижении некоторой минимальной концентрации, неодинаковой для различных элементов и соединений; в настоящее время чаще употребляют понятие «токсичные концентрации».

**Торфоминеральная смесь** – состоит из природных материалов - компоста, торфа, биогумуса, с добавлением минеральных компонентов. Используется в рекультивации, ландшафтном строительстве, овощеводстве и др.

**Трансекта** – узкая длинная пробная площадка для изучения свойств и режимов почв.

**Транспортный источник загрязнения** – источник загрязнения почвы, обусловленный эксплуатацией транспортных средств.

**Тяжелые металлы** – группа химических элементов с атомной массой больше 50 единиц: Pb, Zn, Ni, Cu, Co, Cr и др.

**Урбанизация** – рост и развитие городов, преобразование сельской местности в городскую, миграция сельского населения в города, увеличение роли городов в жизни общества.

**Урбанозем** – искусственно образованная в процессе формирования городской среды почва, являющаяся биокосной многофазной системой, состоящей из твердой, жидкой и газовой фаз с непременным участием живой фазы, функционирующая под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но с добавлением специфического в городской среде антропогенного фактора. Мощность горизонта урбик (U) в урбаноземе составляет более 50 см.

**Урболандшафт** – ландшафты на территории поселков и городов.

**Урбопедогенез** – почвообразование в условиях деятельности человека.

**Урбопочва** – городская почва, которая сочетает горизонт «урбик» - U или AU<sub>ur</sub> мощностью менее 50 см и ненарушенную среднюю и нижнюю часть профиля.

**Уровень загрязнения** – содержание загрязнителей в окружающей среде в целом или в ее отдельных составляющих (атмосфера, вода, почва и т.д.) в абсолютных или относительных единицах, а также по косвенным показателям; выделяют фоновый уровень загрязнения – природная концентрация загрязнителей в среде вместе с дальним и местным переносом загрязнителей, а также не учитываемыми выбросами стационарных и нестационарных источников.

**Ферримагнетики** – вещества, у которых магнитные моменты атомов различных подрешёток ориентируются антипараллельно, как и в антиферромагнетиках, но моменты различных подрешёток не равны, и, тем самым, результирующий момент не равен нулю. Ферримагнетики характеризуются спонтанной намагниченностью, представлены минералами магнетитом, маггемитом, титаномагнетитом, пирротинном, грейгитом и имеют магнитную восприимчивость от 5000 до  $2000000 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$ .

**Ферромагнетики** – это вещества, обладающие спонтанной намагниченностью, то есть они сохраняют намагниченность при отсутствии внешнего магнитного поля. К ним относятся химические элементы – железо, никель, кобальт, их магнитная восприимчивость очень высокая –  $6885000-27600000 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}^{-1}$

**Фон** – содержание химических веществ в почвах территорий, не подвергающихся техногенному воздействию или испытывающих его в минимальной степени.

**Функциональная зона** – части территории города различных видов, для которых установлены границы и функциональное назначение, определяемое соответствующими

характеристиками и параметрами. Функциональные зоны являются также зонами планируемого размещения тех объектов капитального строительства местного значения, для размещения которых Земельным кодексом Российской Федерации не предусмотрено изъятие земельных участков для муниципальных нужд.

**Центильный анализ** – статистический метод оценки выборки данных, при котором устанавливаются границы значений концентрации элемента для каждого интервала или центиля (< 5, 5-10, 10-25, 25-75, 79-90, 90-95, >95).

**Четвертичные отложения** – накопления очень разнообразных горных пород за последний период геологической истории Земли, покрывающих сплошным плащом всю ее поверхность с различной мощностью - от миллиметра в скалистых горах до нескольких километров в прогибах земной коры. Представлены глинами, суглинками, супесями, песками и их неравномерным чередованием.

**Экологическое нормирование** – научная, правовая, административная и иная деятельность, направленная на установление предельно допустимых норм воздействия на окружающую среду, при соблюдении которых не происходит деградации экосистем, гарантируются сохранение биологического разнообразия и экологическая безопасность населения.

**Экспресс-методы** – быстрые полевые методы анализа почв, позволяющие получить экспресс-информацию о химическом составе анализируемых объектов.

**Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова** – анализ содержания и распределения химических элементов в почвах с учетом санитарно-гигиенических нормативов, кларковых и фоновых значений концентрации элементов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов К.Н. Почвенно-экологическая оценка загрязнения города Королева тяжелыми металлами : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2011. 22 с.
2. Агроклиматические ресурсы Пермской области. Л.: Гидрометеопиздат, 1979. 155 с.
3. Адамович Т.А., Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я. Содержание тяжелых металлов в почвах и донных отложениях вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Аграрный вестник Урала. 2009. № 11. С. 10-12.
4. Александрова А.Б. Сравнительный анализ городской пыли (твердый смет), влияние его на городские почвы г. Казани // Тез. докл. III съезда Докучаев. общ. почвоведов (11-15 июля 2000, Суздаль). М. : Изд-во Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2000. Т. 3. С. 4-5.
5. Александрова А.Б. Почвенно-экологические условия формирования ландшафтов г. Казани : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2004. 23 с.
6. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос. 2000. 627 с.
7. Алексеенко Е.В. Экологическая устойчивость культурных ландшафтов промышленного города (на примере парков г. Омска) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Омск, 2006. 16 с.
8. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв : монография. М. : Ярославль, 1995. 222 с.
9. Байкин Ю.А., Байкенова Ю.Г. Эффективность приемов экогеохимической рекультивации загрязненных тяжелыми металлами почв. // Всероссийская научная конференция. Екатеринбург.: УрГСХА, 2001. Т.3. С. 111-116.

10. Балтренас П., Янкайте А. Исследование загрязненности тяжелыми металлами почв вдоль магистрали ВИА-Балтика // Экология и промышленность России. 2003. № 8. С. 41-44.
11. Басова О.М., Хамитова Р.Я. Риск здоровью детей малых городов от перорального поступления тяжелых металлов // Казанский медицинский журнал. 2008. Т. 89. № 2. С. 203-206.
12. Батурин В.К. Техногенно-химическое воздействие автомобильных дорог на экосистемы придорожных полос. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 112 с.
13. Боев В.М. Сравнительная гигиеническая оценка биологических маркеров экспозиции и межсредового распределения микроэлементов в среде обитания : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2008. 22 с.
14. Болотов А.А. К вопросу о генезисе медистых песчаников и сланцев Западного Предуралья [Электронный ресурс] // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. (23-24 мая 2000 г.). Пермь, 2000. Режим доступа: [http://geo.web.ru/conf/geolog\\_2/index.html](http://geo.web.ru/conf/geolog_2/index.html).
15. Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по почвенной экологии, географии и классификации почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 138 с.
16. Бусоргина Н.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как генетический и диагностический их показатель : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2002. 22 с.
17. Бутовский Р.О. Тяжелые металлы как техногенные химические загрязнители и их токсичность для почвенных беспозвоночных животных // Агрехимия. 2005. № 4. С. 73-91.

18. Быков В.Н., Димухаметов Д.М., Димухаметов М.Ш. Эколого-геологическая обстановка города : учебное пособие. Пермь : Изд-во Перм. ун-т, 2001. 101 с.
19. Вадюнина А.Ф., Бабанин В.Ф. Магнитная восприимчивость некоторых почв СССР // Почвоведение. 1972. № 10. С. 55-56.
20. Валетдинов А.Р., Валетдинов Р.К., Горшкова А.Т. Состояние загрязненности снежного покрова г. Казани тяжелыми металлами. // Экология города Казани. Казань : Изд-во ФЭН, 2005. С. 65-69.
21. Васбиева М.Т. Агрэкологические аспекты применения нетрадиционных органических удобрений на дерново-подзолистой почве Предуралья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2011. 22 с.
22. Васильев А.А., Коровушкин В.В., Лобанова Е.С. Месбауэровская спектроскопия в диагностике загрязненных тяжелыми металлами почв г. Перми // Материалы Всероссийской заочной науч.-практ. конф. «Инновационные научные решения – основа модернизации аграрной экономики». Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. Ч.1. С. 65-71.
23. Васильев А.А., Чащин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения [Текст]: монография. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 197с.
24. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная индикация загрязнения подвижными формами тяжелых металлов (Mn, Cr, Cu, Pb, Ni) почв г. Перми // Инновации аграрной науки – предприятиям АПК, материалы Международной науч.-практ. конф. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. Ч.1. С. 163-166.
25. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Картосхема магнитной восприимчивости почвенного покрова г. Перми // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3. С. 24-27.

26. Васильев А.А., Лобанова Е.С., Гилев В.Ю. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова г. Перми // Пермский аграрный Вестник. 2013. № 4. С. 32-38.
27. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная восприимчивость и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове г. Перми // Экология города: состояние и охрана окружающей среды г. Перми. 2013. С. 29-30.
28. Васильев А.А., Чащин М.Н., Лобанова Е.С., Разинский М.В. Нестехиометрический магнетит в почвах урбанизированных территорий Пермского края // Пермский аграрный Вестник. 2014. № 2 (6). С. 43-55.
29. Введенская Н.В., Болонкин П.Ф., Голубев И.И. Древние долины и аллювиальные отложения в среднем течении Камы // Аллювий. Пермь, 1968. Вып. 1. С. 104-130.
30. Веряскина М.А. Проблемы загрязнения атмосферного воздуха в Нижегородской области // Сб. науч. трудов «Экологические проблемы промышленных городов». Саратов, 2011. С. 200-203.
31. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
32. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7. С. 555-571.
33. Вихман М.И. Экологические основы формирования продуктивных и устойчивых агросистем на Кольском Севере: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск, 2011. 51 с.
34. Власов М.Н. Загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв малых рек города Перми // Материалы LXVII Всерос. науч.-практ. конф. молод. уч., асп. и студ. Пермь : Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2008. С. 61-63.

35. Водяницкий Ю.Н. Опыт составления картограммы магнитной восприимчивости дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1979. № 11. С. 83-87.
36. Водяницкий Ю.Н., Большаков В.А. Техногенно-геохимическая аномалия Череповецкого металлургического комбината // Почвоведение. 1995. № 4. С. 498-507.
37. Водяницкий Ю.Н., Бондаревская Ф.Г. Влияние техногенных оксидов железа на свойства дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 1998. № 4. С. 83-88.
38. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа. М. : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2003. 238 с.
39. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Лобанова Е.С. Тяжелые металлы в почвах г. Перми // Доклады РАСХН, 2008. № 4. С. 37-40.
40. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М. : ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.
41. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Лобанова Е.С. Загрязнение тяжелыми металлами и металлоидами почв г. Перми // Агрохимия. 2009. № 4. С. 60-68.
42. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Савичев А.Т., Чашин А.Н. Влияние техногенных и природных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах Среднего Предуралья (г. Чусовой и его окрестности) // Почвоведение. 2010. №9. С. 1089-1099.
43. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами : учебное пособие. М., 2012. 305 с.
44. Волгин С.А. Водно-физические свойства и водный режим почв города Ростов Великий: автореферат дисс. канд. биол. наук. М., 2008. 23 с.
45. Волкова Т.П., Попова Ю.С., Омельченко А.А. Эколого-геохимическая характеристика особенностей накопления

химических элементов в почвах Приазовья // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна. 2005. Вып. 96. С. 84-90.

46. Вологжанина Т.В., Москвитин Н.А., Бутенко В.Ф. Почвенно-географическое районирование и структура почвенного покрова Пермской области // Научные основы повышение плодородия почв. Пермь, 1982. С. 3-8.
47. Ворончихина Е.А., Запоров А.Ю. Экологические аспекты загрязнения среды // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 1998. С.139-146.
48. Ворончихина Е.А., Ушакова Е.С. Геохимия ландшафтов: учебное пособие. Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. 139 с.
49. Ворончихина Е.А. Блинов С.М., Меньшикова Е.А. Технофильные металлы в естественных и урбанизированных экосистемах Пермского края // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 103-108.
50. Ворончихина Е.А. Щукин А.В., Щукина Н.И. К оценке геохимического состояния урбоэкосистемы Перми в связи с использованием противогололедных реагентов // Географический вестник. 2014. № 2 (29). С. 78-94.
51. Гарифуллина Г.Ю. Особенности формирования элементного гомеостаза у жителей крупного промышленного города (на примере г. Уфы Республики Башкортостан) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 22 с.
52. Гельдымамедова Э.А. Медь, цинк, свинец, кадмий в почвах г. Павлодара // Ползуновский вестник Алтайского государственного университета. 2006. № 4. Ч. 2. С. 65-74.
53. Генеральный план города Перми. Пермь, 2010. 250 с.
54. Геннадиев А.Н. Сравнительная оценка содержания в почвах магнитных сферул  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  для целей индикации эрозионно-аккумулятивных процессов // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1218-1234.

55. География России: Энциклопедический словарь / Гл. ред. А.П. Горкин. М. : Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 1998. 800 с.
56. Геологический словарь. М.: Недра, 1978. Т. 2. 227 с.
57. Герасимова М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие / Под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск, Ойкулина, 2003. 268 с.
58. Гилев В.Ю. Оксидогенез и редуктогенез в почвах на элювии и делювии пермских глин Среднего Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2007. 22 с.
59. Гилев В.Ю., Лобанова Е.С., Кривошекова М.И. Динамика объемной магнитной восприимчивости в почвах агроландшафтов и урбанизированных территорий Пермского края // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов: "Молодежная наука 2014: технологии, инновации". Пермь, 2014. Ч. 1. С. 216-218.
60. Гладышева М.Н., Иванов А.В., Строганова М.Н. Выявление ареалов техногенно-загрязненных почв Москвы по их магнитной восприимчивости // Почвоведение. 2007. № 2. С. 235-242.
61. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: учебное пособие. М. : Высшая школа, 1988. 328 с.
62. Глебова О.В. Природный комплекс в геотехногенной системе большого города: На примере Нижнего Новгорода: автореферат дисс. канд. геогр. наук. Нижний Новгород, 2001. 32 с.
63. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / Под ред. Д.М. Хомякова. М. : Моск. ун-та, 2010. 592 с.
64. Гоголина Н.Е. Эколого-геохимический анализ селитебных ландшафтов г. Перми // Материалы XVI международной экологической студенческой конференции «Эко-

- логия России и сопредельных территорий». Новосибирск: Изд-во Новосибирский гос. ун-т, 2011. С. 11-12.
65. Голдырева Т.П. Эндемический зуб в пермском регионе: патогенез, морфология, клинические особенности, терапия: автореф. дис.... докт. мед. наук. СПб., 2005. 41 с.
  66. Голубев С.В. Загрязнение почв округа «Домодедово» тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: М., 2007. 20 с.
  67. ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) и микроагрегатного состава. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 16 с.
  68. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М. : Изд-во стандартов, 2004. 3 с.
  69. ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992. 8 с.
  70. ГОСТ 26207-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992. 6 с.
  71. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992. 6 с.
  72. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992. 8 с.
  73. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. 6 с.
  74. ГОСТ 27800-93 Глинозем. Метод определения потери массы при прокаливании. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1995. 6 с.
  75. ГОСТ 27821-88 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена-Гильковица. М.: Изд-во стандартов, 1988. 7 с.

76. Груздев В.С. Комплексная оценка техногенного воздействия предприятий черной металлургии на окружающую среду центра европейской России (теория, методология, практика) : автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., 2010. 42 с.
77. Дабахов М.В. Экологическая оценка техногенного загрязнения почв урбанизированных территорий и промышленных зон г. Нижнего Новгорода: автореф. дис. ... докт. биолог. наук. М., 2012. 46 с.
78. Дегтярева Т.В. Геохимические особенности ландшафтов г. Ставрополя: на примере распределения ТМ в почве и растениях: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2003. 20 с.
79. Денмухаметов Р.Р. Геоэкологические исследования окружающей среды Приказанского района // Сборник научных трудов «Экологические проблемы промышленности городов». Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. С. 65-68.
80. Джувеликян Ч.А. Роль автомобильного транспорта в загрязнении воздушного бассейна города и влияние его на здоровье граждан // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. сер. химия, биология, фармация. 2006. № 2. С. 132-135.
81. Димухаметов Д.М. Опасные геологические процессы на левобережной территории г. Перми: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Пермь, 2000. 23 с.
82. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 328 с.
83. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. 1999. №5. С. 639-645.
84. Добровольский В.В. Внутрипочвенное карбонатообразование, высокодисперсное вещество почв и геохимия тя-

- желых металлов // Почвоведение 2001. №12. С. 1434-1472.
85. Дуров Н.М., Коровушкин В.В., Подгородецкий Г.С., Юсфин Ю.С. Оценка и прогнозирование ветрового разноса загрязняющих веществ в зоне влияния металлургических предприятий // Известия вузов. Черная металлургия. 2009. № 3. С. 57-61.
  86. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь // Почвоведение. 2005. № 7. С.782-789.
  87. Еремченко О.З., Москвина Н.В., Шестаков И.Е. Строеение, свойства и распространение урбоагропочв в районах одноэтажной застройки г. Перми // Вестник Пермского ун-та. Сер. Биология. 2009. Вып. 10(36). С. 160-163.
  88. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края. Пермь, 2010. 92 с.
  89. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2009. 22 с.
  90. Загурский А.М., Иванов А.В. Магнитная восприимчивость верхних горизонтов почв как индикатор загрязнения территорий, прилегающих к автодорогам // Тезисы докладов Всерос. науч.-практ. конф. «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». М., 2008. С. 199-200.
  91. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Геоэкологическая оценка территории. М.: Наука, 2005. 318 с.
  92. Залесов С.В., Колтунов Е.В. Содержание тяжелых металлов в почвах лесопарков г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала. 2009. № 6. С. 71-72.
  93. Злобин А.А., Юшков И.Р. Анализ магнитных свойств осадочных горных пород Пермского края // Вестник

- Пермского Университета. Сер. Геология. 2012. Вып. 1(14). С. 42-47.
94. Зубарев А.Ю. Гигиеническая оценка воздействия химических факторов риска на сердечно-сосудистую систему и организация профилактической модели амбулаторно-поликлинической помощи (на примере г. Перми) : автореф. дис.... канд. мед. наук. Оренбург, 2011. 26 с.
95. Зуев В.С. К методологии проведения экологического мониторинга почв городских территорий (на примере почв г. Санкт-Петербург) // Экологические проблемы промышленных городов. 2009. Ч. 1. С. 142-144.
96. Зулкарнаев А.Б. Экологическое состояние почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности (Южный Урал) : автореф. дис. ... канд. биолог. наук. Уфа, 2012. 22 с.
97. Зулкарнаев Р.И., Штерн В.О., Карташкова Л.М. Снижение агрессивного воздействия антигололедных материалов на окружающую среду Оренбургской области // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Развитие университетского комплекса как фактор повышения инновационного и образовательного потенциала региона». Оренбург, 2007. С. 27-29.
98. Иванов А.В., Бабанин В.Ф. Методы исследования и эволюция представлений о формах соединений железа в почвах // Почвоведение. 1993. № 5. С. 121-128.
99. Иванов А.В., Гладышева М.А., Строганова М.Н. Применение метода магнитной восприимчивости для диагностики загрязненных ТМ городских почв // Тезисы Междун. науч. конф «Современные проблемы загрязнения почв». Москва, 2004. С. 24-28.
100. Ивлев А.М., Дербенцева А.М. Техногенез и почвы: учебное пособие. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2005. 82 с.

101. Ильин В.Б. О нормировании тяжелых металлов в почве // Почвоведение. 1986. № 9. С. 90-98.
102. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение: монография. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
103. Ильин В.Б., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях Новосибирска // Агрехимия. 2000. № 1. С. 66-73.
104. Инвестиционный обзор ОАО «Мотовилихинские заводы». Пермь, 2007. 49 с. Режим доступа : <http://quote.2stocks.ru/upload/1196090762.pdf>.
105. Информационный сайт компании «Ледокол». Статья «История противогололедных реагентов». 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа : [URL://http://www.gololed.ru/reagents/istoriya\\_protivogololyodnih\\_reagentov](http://www.gololed.ru/reagents/istoriya_protivogololyodnih_reagentov)
106. Каверина С.А. Геоэкологическая оценка трансформации почвенного покрова урбанизированных территорий (на примере Орско-Новотроицкого промузла): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 2007. 19 с.
107. Казамирова Р.Н. Влияние рекреационной нагрузки на свойства почв в арборетуме Никитского ботанического сада. // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. С. 111.
108. Казанцев И.В. Экологическая оценка влияния железнодорожного транспорта на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях полосы отвода : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2008. 18 с.
109. Кайгородов Р.В., Тиунова М.И., Дружинина А.В. Загрязняющие вещества в пыли проезжих частей дорог и в древесной растительности придорожных полос городской зоны // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2009. Вып. 10 (36). С. 141-146.

110. Кайгородов Р.В., Новоселова Л.В., Мозжерина Е.В. Загрязнение почв придорожных газонов г. Перми тяжелыми металлами, их распределение в вегетативных органах и влияние на фертильность и линейные размеры пыльцевых зерен *Taraxacum officinale* S.L. // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2010. Вып. 3. С. 30-34.
111. Капелькина Л.П., Васильева К.В. Геохимическая оценка почв г. Ленинграда // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. М.: ИМГРЭ, 1991. С. 87-91.
112. Капралова О.А. Изменение биологических свойств почв г. Ростова-на-Дону при загрязнении тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2012. 24 с.
113. Касимов Н.С., Батоян В.В., Белякова Т.М. Эколого-геохимическая оценка городов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1990. № 3. С. 3-12.
114. Кашулина Г.М. Аэротехногенная трансформация почв европейского субарктического региона. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2002. Ч. 1. 158 с.
115. Классификация и диагностика почв России. Авторы: Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
116. Классификация и диагностика почв СССР. М. Колос, 1977. 223 с.
117. Ковач Р.Г. Метод техногенной метки для изучения процессов массопереноса в почвенном покрове и эрозионно-русловых системах // Изменение природной среды на рубеже тысячелетий. Тр. Межд. электронной конф. Тбилиси-Москва, 2006. С. 213-219.
118. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. 490 с.
119. Ковязин В.Ф. Биологические основы формирования устойчивых экосистем и рационального использования

- почвенно-растительных ресурсов мегаполисов: автореферат дисс. докт. биол. наук. Санкт-Петербург, 2008. 40с.
120. Колеватых Е.А. К вопросу о генезисе и геохимии покровных суглинков // Литосфера. 2010. № 6. С. 55-65.
121. Колесников С.И, Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Эколого-биологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения : монография. Ростов-на-Дону: Изд-во Росиздат, 2006. 385 с.
122. Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Глебова О.В. Природный комплекс большого города: Ландшафтно-экологический анализ. М.: Наука, 2000. 286 с.
123. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. 2011. Вып. 1. С. 26-37.
124. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. 2012. Вып. 2 (15). С. 16-34.
125. Копылов И.С. Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города Перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. С. 335-339.
126. Коринина Д.И. Исследование состояния почв и грунтов на территории города Перми. «Молодежная наука 2012: технологии, инновации». Материалы Всероссийской науч.-практич. конф. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. С. 206-209.
127. Коровина Е.В., Сатаров Г.А. Оценка состояния почвенного покрова урбозкосистемы // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. №3 (17). С. 157-161.
128. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. 279 с.

129. Косинова И.И., Крутских Н.В., Кустова Н.Р. Техногенное преобразование природной среды территории г. Воронежа и его экологические последствия: монография. М.: РГОТУПС, 2007. 172 с.
130. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Самонова О.А. Регрессионные модели поведения тяжелых металлов в почвах Смоленско-Московской возвышенности // Почвоведение. 2002. С. 954-966.
131. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Никифорова Е.М. Современное эколого-геохимическое состояние почв Москвы // Экологические проблемы промышленных городов. 2011. Ч.1. С. 79-85.
132. Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Динамика антропогенной трансформации физико-химических свойств городских почв (на примере ВАО Москвы). Материалы докладов IV съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск-Москва 13-18 августа 2012). Петрозаводск: Карельский научный центр. 2012. Кн. 1. С. 261-263.
133. Кудрявцев Ю.И., Кудрявцев Ю.И., Сараев А.К. Каротаж магнитной восприимчивости. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. 272 с.
134. Кузнецов А.В. Контроль техногенного загрязнения почв и растений // Агрехимический вестник. 1998. С. 79.
135. Кузнецов М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии : монография. Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1994. 287 с.
136. Курбатова А.С., Неглядюк О.Ф. Загрязнение городских почв Москвы тяжелыми металлами и мышьяком // Тр. Межд. науч. конф. «Современные проблемы загрязнения почв». М., 2004. С. 180.
137. Лебедева И.И., Герасимова М.И. Возможности включения почв и почвообразующих пород Москвы в общую

- классификационную систему почв России. Почвоведение. 2011. № 5. С. 624-628.
138. Лисовой Д.А., Синявский В.А. Экологическое состояние почв и урбаноземов г. Челябинска // Экология. Природопользование. Серия 12. Вестник Челябинского гос. ун-та. 2005. № 1. С. 151-154.
139. Лобанова Е.С. Высокомагнитные соединения и тяжелые металлы в почвах г. Перми // Экология: проблемы и пути решения: материалы XVI науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (18-19 апр. 2008г., Пермь). Пермь: Перм. ун-т, 2008. С. 133-137.
140. Лобанова Е.С., Трегубова Н.В. Магнитная восприимчивость почв придорожных территорий улиц города Перми // Материалы LXIX Всероссийской науч.-практ. конф. молод. уч., асп. и студ. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. Ч. 1 С. 104-105.
141. Лобанова Е.С., Силина А.Н. Неоднородность магнитной восприимчивости дерново-подзолистых почв южной окраины г. Перми // Молодежная наука 2013: технологии, инновации, материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. Ч.1. С. 177-180.
142. Лобачева Г.К., И.Ж. Гучанова, А.П. Фоменко Эколого-геохимическая оценка состояния урболандшафтов г. Волгограда. Вестник ВолГУ. Серия 3. Эклогия. 2008. № 1 (12). С. 177-184.
143. Лысиков А.Б. Изменение свойств и экологической роли лесных почв под влиянием автомагистрали // Тезисы докл. 3 съезда Докучаевского общ-ва почвоведов (11-15 июня 2000, Суздаль). М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2000. Кн. 3. С. 158-159.
144. Любимов В.Б., Назаров Ю.В. Автотранспорт и экология города Балашова // Материалы всерос. науч.-практ. конф.

- «Безопасность через образование». Брянск: БГУ, 2006. С. 4.
145. Ляшенко Г.М. Загрязнение почв и растений свинцом в придорожных агроценозах чернозема обыкновенного приазовской зоны Ростовской области: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. Пос. Персиановский, 2007. 24 с.
146. Макаров В.З. Теория и практика ландшафтно-экологических исследований крупных городов с применением ГИС-технологий : автореф. дис. ... д-ра географ. наук. Санкт-Петербург, 2001. 44 с.
147. Малеев К.И., Двинских С.А. Экологическое краеведение Пермской области: учебное пособие. Пермь: Книжный мир, 2003. 245с.
148. Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Бортникова С.Б., Айриянц А.А. Магнитные свойства осадков при техногенном загрязнении отходами горнорудного производства (Салаирский ГОК, Кемеровская область) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. № 1. С. 33-44.
149. Матинян Н.Н., Бахматова К.А., Шешукова А.А. Тяжелыми металлами в почвах Санкт-Петербурга // Современные проблемы загрязнения почв. Международная научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». Москва, 24-28 мая 2004 г. С. 145-146.
150. Матинян Н.Н., Бахматова К.А. Почвы Санкт-Петербурга // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всероссийская с международным участием научная конференция «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования (Петрозаводск–Москва, 13-18 августа 2012 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. Кн. 3. С. 80-81.
151. Меньшиков А.Л. Особенности трансформации плодородия почв городских территорий под влияние антропоген-

- ного фактора: На примере г. Омска: автореферат дисс. канд. биол. наук. Тюмень, 2003. 16 с.
152. Меньшов А.И., Сухорада А.В. Намагниченность типоморфных почв Украины и ее информативность // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: Тезисы семинара. Борок, 2009. С. 28-29.
153. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». Минздрав России. М., 1999. 23 с.
154. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 64 с.
155. Мещеряков П.В., Прокопович Е.В., Коркина И.Н. Трансформация экологических условий почвообразования и формирования гумусовых веществ под влиянием урбогенеза. // Экология. 2005. № 1. С. 11-19.
156. Миков О.А. Опыт использования метода каппаметрии для оценки экологической ситуации // Международный научный симпозиум «Молодежь и проблемы геологии». Томск, 1996. С. 34-37.
157. Мингулова И.Ф. Геоэкозащитные мероприятия при строительстве дорожно-транспортного комплекса урбанизированной территории (на примере города Санкт-Петербурга): автореф. дисс. ... канд. технич. наук. СПб, 2012. 20с.
158. Минкина Т.М., Нагабедьян И.А., Новогренко В.Д. Методические аспекты почвенно-экологического мониторинга // Плодородие. 2002. № 5(8). С. 33-35.
159. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Взаимодействие тяжелых металлов с органическим веществом чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2006. № 7. С. 804-811.
160. Молоствовский Э.А., Абакшин О.В., Еремин В.Н. Петромагнитная индикация техногенного загрязнения урба-

- низированных территорий // Проблемы геоэкологии Саратова и области. Саратов, 1996. Вып. 1. С. 25-32.
161. Молостовский Э.А. Петромагнетизм осадочных формаций и геолого-геофизические аспекты его изучения // Информационный бюллетень РФФИ. Науки о земле. 1998. № 6.
162. Молостовский Э.А., Еремин В.Н. Способ определения техногенного загрязнения почв и донных осадков металлами: Патент Российской Федерации. 2002. № 2110068.
163. Морозов В.В. Изоморфные замещения и другие магнетоминералогические особенности соединений железа в зоне гипергенеза: автореф. дис... док. физ.-мат. наук. М., 2006. 41 с.
164. Москвина М.В. Почвы и техногенные поверхностные образования многоэтажных жилых районов городов Прикамья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2004. 24 с.
165. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: Системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 168 с.
166. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: Системная организация, экологическое значение, мониторинг. М. : Изд-во Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 167 с.
167. Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь: ИПК «Звезда», 2004. 155с.
168. Назаров Н.Н. География Пермского края: учебное пособие. Пермь, 2006. 139 с.
169. Наркович Д.В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области): автореф. дисс. ... канд. геол. - минер. наук. Томск, 2012. 21 с.

170. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Динамика загрязнения городских почв свинцом // Почвоведение. 2007. №8. С. 984-997.
171. Никоненко М.Н. Влияние урбанизации на трансформацию почвенного покрова и условия функционирования древесных растений городов Среднего Предуралья (на примере г. Сарапула и г. Камбарки): автореф. дисс. канд. ... биол. наук. Ижевск, 2007. 21 с.
172. Нульман А.А. Пылевая нагрузка и удельная магнитная восприимчивость пыли в зоне выбросов производства по высокотемпературной переработке медной руды (слабое загрязнение) // Четвертые научные чтения памяти Ю.П. Булашова. Семинар «Экологические исследования». Екатеринбург, 2007. С. 208-212.
173. Нургалиева Н.Г., Нургалиев Д.К., Чернова И.Ю., Косарева Л.Р., Халымбаджа И.В. Природа магнитных минералов в переходных фациях пермских отложений р. Кама // Ученые записки Казанского государственного университета. Том 148. Кн. 4. Естественные науки. 2006. С. 113-125.
174. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Пермском крае в 2011 году: Государственный доклад. Пермь: Управление Роспотребнадзора по Пермскому краю, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 2012. 272 с.
175. Обыденова Л.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель агроэкологической оценки их свойств: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2003. 23 с.
176. Овеснов С.А., Ефимик В.Г., Козьминых Т.В. Иллюстрированный определитель растений Пермского края. Пермь: Книжный мир, 2007. 742 с.

177. Панин М.С. Эколого-геохимическая характеристика почв г. Павлодар Республики Казахстан // Вестник ТГУ. 2006. № 292. С. 171-177.
178. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. Аналитический обзор: монография. Новосибирск: Изд-во ГППТБ СО РАН, 2001. 58 с.
179. Переломов Л.В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв // Почвоведение. 2007. № 11. С. 85-96.
180. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астерия, 1999. 768 с.
181. Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве № 6229-91. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91). Гигиенические нормативы. М.: Информ. издат. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1995. 8 с.
182. Пермь в 2010 г [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. Россия, 2010. Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Пермь>.
183. Петров В.Ю., Петухов М.Ю., Якимов М.Р. Анализ режимов работы улично-дорожной сети крупных городов на примере города Перми: монография. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2004. 275 с.
184. Плеханова И.О., Бамбушева В.А. Экстракционные методы изучения состояния тяжелых металлов в почвах и их сравнительная оценка // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1081-1088.
185. Пляскина О.В. Особенности загрязнения тяжелыми металлами городских почв юго-восточного административного округа г. Москвы: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2007. 26 с.

186. Попов О.К., Лебедев А.М., Гарбузов А.М., Кузнецов И.О. Техногенное загрязнение пригородной зоны промышленно развитого города : монография / под общ. ред. Н.И. Володина. Тула, 2001. 184 с.
187. Попова Л.Ф., Никитина М.В., Наквасина Е.Н. Экологическое состояние почвенно-растительного покрова природных ландшафтов г. Архангельска // Вестник ПГУ. Серия «Естественные науки». Архангельск: Изд-во ПГУ, 2011. № 1. С.71-77.
188. Попутников В.О. Тенденции антропогенной трансформации автоморфных почв территорий городских парков и прилегающих жилых кварталов: автореф дисс канд. биолог. наук. Москва. 2011. 24 с.
189. Почва, город, экология / под ред. ак. РАН Г.В. Добровольского. М: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
190. Прокофьева Т.В., Строганова М.Н. Соотношение городских почв и антропогенных отложений на территории города // Почвы - национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаевского общ-ва почвоведов. Новосибирск: Наука-центр, 2004. Кн.2. С. 570.
191. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611-623.
192. Проскурня Ю.А., Снежок И.С., Дмитриева Е.Н. Экологические проблемы городов Украины // «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів»: Матеріали XX Всеукраїнської наукової конференції аспірантів і студентів. Донецьк, ДонНТУ, 2010. Т. 2. С. 96-97.
193. Протасова Л.А. Генетическая характеристика и диагностика дерново-бурых и дерново-карбонатных почв Перм-

- ского края: монография. Пермь, ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. 135 с.
194. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: учебное пособие. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. 232 с.
195. Пшенин В.Н. Актуальные вопросы оценки загрязнения почвенного покрова вблизи автомагистралей // Труды Всероссийского научно-практического семинара «Экологизация автомобильного транспорта», МАНЭБ. СПб, 2003. С. 83-88.
196. Равилова Н.Н., Чернова И.Ю. Экспресс контроль уровня загрязнения почв на территории г. Казань // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзо-генных процессов: Материалы Международной конференции. Казань: Изд-во КГУ, 2007. Т. 1. С. 314-316.
197. Раппопорт А.В. Антропогенные почвы городских ботанических садов: на примере Москвы и Санкт-Петербурга: автореф. дисс. канд. биол. наук. М., 2004. 25 с.
198. Растительность европейской части России / под ред. А.А. Грузна. Тула: Изд-во Наука, 1992. 342 с.
199. Решетников М.В. Магнитная индикация почв городских территорий (на примере г. Саратова): монография. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. 152 с.
200. Робертус Ю.В. Свинцовое загрязнение и физико-химические свойства почв г. Горно-Алтайска // Проблемы региональной экологии. 2010. № 1. С. 31-35.
201. Родикова А.В. Антропогенно-преобразованные почвы Ширинской степи: особенности элементного состава и свойств // Экологические проблемы промышленных городов. 2009. Ч. 2. С. 212-214.
202. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Академический проект, 2004. 432с.

203. Романова А.В. Оксидогенез железа и марганца и тяжелые металлы в аллювиальных почвах южной тайги Среднего Предуралья: автореф. дисс. ... канд. биолог. наук : Уфа, 2012. 24 с.
204. Рылова Н.Г. Трансформация почвенного покрова в условиях промышленного города и ее воздействие на растительность: на примере г. Ижевска: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ижевск, 2003. 20 с.
205. Савич В.И. Почвы мегаполисов, их экологическая оценка, использование и создание (на примере г. Москвы): учебное пособие. М.: Агробизнесцентр, 2007. 660 с.
206. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Н.Л., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
207. СанПиН 2.1.7.1287-03 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы, с изменениями от 25 апреля 2007 г.
208. Сатаев Э.Ф. Режимы и оксидогенез почв на древнеаллювиальных отложениях Средне-Камской низменной равнины: автореф. дис.... канд. с-х. наук. М., 2005. 22 с.
209. Седьмов Н.А., Бабанин В.Ф., Морозов В.В., Залуцкий А.А., Трухин В.И., Шоба С.А. Магнитоминералогические особенности магнетита из различных осадочных пород и отложений // Вестник Моск. ун-та. Сер. 3. Физика и астрономия. 2004. № 1. С. 59-65.
210. Семенова Т.В. Исследование свинцового загрязнения участка прилегающего к автомагистрали // Экология: проблемы и пути решения: материалы XIII науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Пермь: Перм. ун-т, 2005. С. 48-49.
211. Скрябина О.А. Почвообразующие породы Пермской области: учебное пособие. Пермь, 1998. 30 с.

212. Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В., Степанов А.Л., Мягкова А.Д., Курбатова А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603-615.
213. Смирнов Ю.Г., Кайгородова С.Ю. Особенности накопления и перераспределения техногенной пыли в тяжелосуглинистых почвах Среднего Урала // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: Тезисы докладов Всерос. конф. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. С. 426.
214. Солнцев Н.В., Болонкин П.В., Голубев И.И. Древние долины и аллювиальные отложения в среднем течении Камы // Почвоведение. 2000. № 7. С. 104-130.
215. Соловьева Е.С., Ашихмина Т.Я., Широких И.Г. Оценка химического загрязнения урбаноземов г. Кирова // Сб. науч. трудов «Экологические проблемы промышленных городов». Саратов, 2011. С. 136-139.
216. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2003 г. Справочно-информационные материалы / Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми. Пермь, 2004. 46 с.
217. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2005 г. Справочно-информационные материалы / Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми. Пермь, 2006. 76 с.
218. Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2006 г [Электронный ресурс] / Управление по охране окружающей среды Администрации Пермского края. Пермь, 2007. Режим доступа: URL: <http://www.permecology.ru>.
219. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2007 г. Справочно-информационные материалы [Электронный ресурс] / Управление по экологии и природопользованию

- администрации города Перми. Пермь, 2008. Режим доступа: <http://www.priodaperm.ru>.
220. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2008 г.: Справочно-информационные материалы [Электронный ресурс] / Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми. Пермь, 2009. Режим доступа: <http://www.priodaperm.ru>.
221. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2009 г.: Справочно-информационные материалы [Электронный ресурс] / Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми. Пермь, 2010. Режим доступа: <http://www.priodaperm.ru>.
222. Спиридонова И.В. Оценка накопления тяжелых металлов в почвах урболандшафтов Волгограда: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2009. 25 с.
223. Станченко Л.Ю. Распределение тяжелых металлов в почвах и растительности городских экосистем Калининградской области // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2009. Вып. 1. С. 81-85.
224. Страдина О.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель их загрязнения тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2008. 21 с.
225. Строганова М.Н., Агаркова М.Г. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) // Почвоведение. 1992. № 7. С. 16-24.
226. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // Почвоведение. 1997. №1. С. 96-101.
227. Строганова М.Н., Иванов А.В., Гладышева М.А. Магнитная восприимчивость почв урбанизированных территорий (на примере города Москвы) // Доклады по экологическому почвоведению. 2012. Вып. 16. N 1. С. 40-80.

228. Субботина М.Г. Эколого-агрохимическое обоснование применения золы биологических отходов в качестве фосфорного удобрения на дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почве в Предуралье: автореф. дис.... канд. с.-х. наук. Пермь, 2012. 20 с.
229. Сунцев А.С., Леонова-Вендровская З.А., Денисов М.И., Черткова И.И. Структурная геология и геологическое картирование. Геологическое строение района г. Перми: учебное пособие. Пермь: Изд-во Перм. ун-т, 2000. 104 с.
230. Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Экотоксикология тяжелых металлов : учебное пособие. Н. Новгород: НГСХА, 2002. 135 с.
231. Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Некоторые подходы к экологической оценке загрязнения земельных угодий // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1264-1267.
232. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А., Селеванова Н.В. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов : монография. Владимир: Владимир Полиграф, 2007. 170 с.
233. Трошина Е.Н. Загрязнение почвы тяжелыми металлами на территории крупного промышленного центра // Медицина труда и промышленная экология. 2008. № 12. С. 43-44.
234. Тунакова Ю.А. Элементный состав биосред как интегральный показатель опасности полиметаллического загрязнения компонентов окружающей среды урбанизированных территорий и рекомендации по минимизации опасности (на примере г. Казани): автореф. дисс. ... докт. хим. наук. Казань, 2006. 39 с.
235. Тютюнник Ю.Г., Горлицкий Б.А. Факторный анализ геохимических особенностей почв городов Украины // Почвоведение. 1998. № 1. С. 100-109.
236. Убугунов В.Л./ Тяжелые металлы в почвах города Улан-Удэ и эколого-агрохимические приемы их детоксикации

- // Тезисный доклад научной конференции: Биология на пороге XXI века- Улан-Удэ: РИО БГСХА, 1999. 53-55с.
237. Удачин В.Н., Вильямсон Б.Д., Аминов П.Г. Геохимия окружающей среды геотехнических систем Южного Урала // Естественные и технические науки. 2009. №6. С. 298-306.
238. Усломина Н.Г., Еремченко О.З. Почвы селитебных районов г. Перми: разработка подходов к почвенно-экологическому картированию. Пермский университет, 2000. С. 164-168.
239. Уткин Р.Е. Экологические проблемы Перми / под ред. Ю.С. Клячкина. Пермь: ЭКСКОРТ, 1999. 221 с.
240. Учватов В.П. Геохимические потоки и геохимический баланс тяжелых металлов как показатель устойчивости ландшафта к антропогенным нагрузкам // Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды. М.: Т-во научных изданий КМК, 2004. С. 179-199.
241. Федорова А.И., Каверина Н.В. Тяжелые металлы в почвах зоны влияния крупного железнодорожного узла (на примере г. Воронежа) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. География и геоэкология. 2003. №1. С. 98 -104.
242. Федотова А.С. Нормирование качества почвы промышленных территорий // Сборник научных трудов «Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России». М.: МГУП, 2005. С. 469 - 473.
243. Феоктистова И.Д. Оценка экологического состояния почв урбанизированных территорий, загрязненных нефтепродуктами и тяжелыми металлами (на примере г. Владимира): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 2012. 22 с.

244. Хабаров В.А. Комплексная геоэкологическая оценка урбанизированных территорий в условиях техногенеза: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., 2003. 53 с.
245. Химическое загрязнение почв и их охрана. Словарь-справочник / под ред. Д.С. Орлова, М.С. Малинина, Г.В. Мотузовой. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
246. Хоробрых Р.Р. Загрязнение территории Челябинска тяжелыми металлами // Экологические проблемы промышленных городов. 2011. Ч.1. С. 325-326.
247. Хрусталева М.А. Эколого-геохимические проблемы различных сред городских ландшафтов и их реабилитация // Экологические проблемы промышленных городов. 2009. Ч. 2. С. 265-268.
248. Чащин А.Н. Оксиды железа и тяжелые металлы в загрязненных металлургическим производством почвах г. Чусовой (Среднее Предуралье): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Уфа, 2010. 26 с.
249. Черных Н.А., Ладонин В.Ф. Вопросы нормирования содержания тяжелых металлов в почве // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 5. С. 10-13.
250. Чеснокова С.М., Алтухова Е.Ю. Оценка устойчивости почв урбанизированных территорий, загрязненных тяжелыми металлами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. №1 (15). С. 1245-1248.
251. Чибирова Ф.Х. Особенности перестройки дефектной структуры магнетита в вихревом магнитном поле по данным мёсбауэровской спектроскопии // Журнал физической химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2187-2189.
252. Чуков С.Н., Салихова Е.В. Комплексная оценка состояния городских почв на примере почв Калининграда // Сборник тезисов Международная научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». М., 2004. С. 384-386.

253. Чумаченко И.Н., Прошкин В.А., Алексютин М.В. Экспресс-метод оценки загрязнения земель тяжелыми металлами на основе картирования магнитной восприимчивости почв // *Агрохимический вестник*. 1998. №1. С. 33-35.
254. Шаркова С.Ю. Экологическое состояние природных и техногенных экосистем Среднего Поволжья и их реабилитация: автореф. дис. ... докт. биол. наук. М, 2009. 40 с.
255. Шестаков И.Е. Экологическое состояние почвенного покрова г. Перми: автореф. дис... канд. биол. наук. Пермь, 2012. 24 с.
256. Ширкин Л.А., Трифонова Т.А., Кошман В.А., Краснощёков А.Н. Оценка техногенной трансформации почвенного покрова с применением анализа магнитной восприимчивости почв // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 5 (3). С. 866-871.
257. Шихова Л.Н. Содержание и динамика тяжёлых металлов в почвах Северо-Востока европейской части России: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Киров, 2005. 49 с.
258. Шишкин М.А., Лаптева А.К. Эколого-геохимический анализ современных ландшафтов Прикамья: монография. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 286с.
259. Щелчкова М.В. Влияние выбросов автотранспорта на биологическую активность мерзлотной лугово-черноземной почвы г. Якутска // *Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева*. Петрозаводск, 2012. Кн. 2. С. 306-307.
260. *Экогеохимия городских ландшафтов* / под ред И.С. Касимова. М. : Изд-во МГУ, 1995. 336 с.
261. Ягафонова Г.А. Экология тяжелых металлов: учебное пособие. Уфа: РИО РУНМЦ МО РБ, 2008. 108 с.
262. Язиков Е.Г., Миков О.А. Способ определения техногенной загрязнённости почвенного покрова тяжёлыми металлами группы железа (железо, кобальт, никель) // Пат.

- № 2133487 Россия, МПК6 G 01 V 9/00/; заявитель и патентообладатель Томский политех. ун-т. № 98100689; опубл. 20.07.1999.
263. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.
264. Яковлев А.С., Плеханова И.О., Кудряшов С.В., Аймалетдинов Р.А. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне действия предприятия металлургической компании «Норильский никель» // Почвоведение. 2008. № 6. С. 737-750.
265. Якуцени С.П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков: монография. СПб.: «Недра», 2005. 372 с.
266. Acosta J.A., Faz Á., Kalbitz K. et al. Heavy metal concentrations in particle size fractions from street dust of Murcia (Spain) as the basis for risk assessment // Journal Environment Monitoring. 2011. Vol. 13. P. 3087-3096.
267. Akbar K.F., Hale W., Headley A.D. et al. Heavy metal contamination of roadside soils of northern England // Soil & Water Resources. 2006. Vol. 1 (4). P. 158-163.
268. Al-Omran M., El-Maghraby E., Nadeem E.A. et al. Impact of cement dust on some soil properties around the cement factory in Al-Hasa oasis, Saudi Arabia // American-Eurasian. 2011. № 6. P. 840-846.
269. Amlinger F. Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilizers. ECDGE // Final Report. 2004. P. 73-74. [http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm\\_finalreport.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_finalreport.pdf).
270. Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-

- Lozere, France) // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40. P. 5319-5326.
271. Batista M.J., Demetriades A., Pirc S. et al. Factor analysis interpretation of European soil, stream and floodplain sediment data. FOREGS Geochemical // Atlas of Europe, Part 2: Articles. Annex 5. Geological Survey of Finland, 2006.
272. Bityukova L., Scholger R., Birke M. Magnetic susceptibility as indicators of environmental pollution of soils in Tallinn // Physics and Chemistry of the Earth. Part A. Solid Earth and Geodesy. 1999. Vol. 24. № 9. P. 829-835.
273. Bockheim J. G. Nature and properties of highly disturbed urban soils. Philadelphia, Pennsylvania, 1974, Paper presented, before Div., Soil Science of America, Chicago, Illinois. S. 5.
274. Cebula E., Ciba J. Effects of flooding in southern Poland on heavy metal concentrations in soils // Soil Use and Management. 2005. Vol. 21. № 3. P. 348-351.
275. Chaparro M.A.E., Bidegain J.C., Sinito A.M. et al. Magnetic studies applied to different environments (soils and stream sediments) from a relatively polluted area in Buenos Aires Province, Argentina // Environmental Geology. 2004. Vol. 45. P. 654-664.
276. Cheng Z., Shaw R., Simmon R. Heavy Metal Contamination in New York City Garden Soils // 5th International conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic, Mining, and Military Areas. New York, 2009. P. 30-31
277. Chilingirova R.E., Staykova J.N., Velcheva I.G. et al. Heavy metals content in soil near non-ferrous metals production facility and domestic wastes landfill in the area of Kardzhali Town // Ecologia Balkanika. 2011. Vol. 3. № 1. P. 19-24.
278. Dearing J. Environmental magnetic susceptibility. Using the Bartington MS2 System (Second Edition). Chi Publishing, England, 1999. 54 p.

279. Dekov V.M., Molin G.M., Dimova M. et al. Cosmic spherules from metalliferous sediments: A long journey to the seafloor // *Neues Jahrbuch fur Mineralogie. Abhandlungen*. 2007. V. 183. № 3. P. 269-282.
280. D'Emilio M., Chianese D., Coppola R. et al. Magnetic susceptibility measurements as proxy method to monitor soil pollution: development of experimental protocols for field surveys // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007. Vol. 125. № 1-3. P. 137-146.
281. Dolan L.M.J., Van Bohemen H., Whelan P. et al. Towards the sustainable development of modern road ecosystem // *Ecology of transportation: managing mobility for the environment*. – Springer Netherlands, 2006. P. 275-331.
282. El Baghdadi M., Barakat A., Sajieddine M., Nadem S. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in urban soil of Beni Mellal City (Morocco) // *Environmental Earth Sciences*. 2011. Vol. 66. P. 141.
283. El-Hasan T., Al-Nawiseh A., Lataifeh M.S. Environmental magnetism: heavy metal concentrations in soils as a function of magnetic materials content // *Earth and Environmental Sciences*. 2009. Vol. 2. P. 38-49.
284. Glavin R.J., Hooda P.S. practical examination of the use of geostatistics in the remediation of a site with a complex metal contamination history // *Soil Sediment Contamination*. 2005. Vol. 3. P. 155-169.
285. Grzebisz W., Cieśla L., Komisarek J., Potarzycki J. Geochemical assessment of heavy metals pollution of urban soils // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2002. Vol. 11. № 5. P. 493-499.
286. Guo G., Wu F., Xie F., Zhang R. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China // *Journal of Environmental Sciences*. 2012. Vol. 24(3). P. 410-418.

287. Hoffmann V., Knab M., Appel E. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution // *Geochemical Exploration*. 1999. Vol. 66. № 1-2. P. 313-326.
288. Hu X., Zhang G., Wu X. Vertical distributions of magnetic susceptibility of the urban soil profiles in Shanghai and their environmental implications // *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1-6 August 2010*. P. 81-84.
289. Jankaitė A., Baltrėnas P., Kazlauskienė A. Heavy metal concentrations in roadside soils of Lithuania's highways // *Geologija*. 2008. Vol. 50. № 4(64). P. 237-245.
290. Jiang, Q., Hu X., Wei J. Magnetic properties of urban topsoil in Baoshan district, Shanghai and its environmental implication // *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1-6 August 2010*. P. 93-96.
291. Jien S., Tsai C., Hseu Z., Chen Z. Baseline concentrations of toxic elements in metropolitan park soils of Taiwan // *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*. 2011. Vol. 5 (1). P. 1-7.
292. Kaminski M.D., Landsberger S. Heavy metals in urban soils of East St. Louis, IL, Part I: Total concentration of heavy metals in soils // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2000. Vol. 50(9). P. 1667-1679.
293. Kapička A., Petrovský E. Magnetismus hornin a jeho aplikace při studiu znečištění životního prostředí // *Československý časopis pro fyziku*. 2004. Vol. 54 (4). P. 240-243.
294. Karimi R., Ayoubi S., Jalalian A. et al. Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran // *Applied Geophysics*. 2011. Vol. 74. № 1. P. 1-7.
295. Lăcătușu R., Kovacsovics B., Breabăn I.G. et al. Abundance of heavy metals in urban soils as concerns genesis and pollut-

- ing impact // Revista Lucrări științifice. Seria Agronomie. 2007. P. 141-149.
296. Lu S.G., Bai S.Q., Xue Q.F. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China // Geophysical Journal International. 2007. Vol. 171. № 2. P. 568-580.
297. Lu S.G., Bai S.Q. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: Relationship with different land uses // Environmental earth sciences. 2012. Vol. 60 (7). P. 1481-1490.
298. Magiera T. Wykorzystanie magnetometrii do oceny zanieczyszczenia gleb i osadów jeziornych, Works & Studies // Prace i Studia, IPIŚ PAN, Zabrze. 2004. Vol. 59. P. 1-13.
299. Magiera T., Strzyszczyński Z., Kapička A., Petrovský E. Discrimination of lithogenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe // Geoderma. 2006. Vol. 130. P. 299-311.
300. Maher B.A. Comments on «Origin of the magnetic susceptibility signal in Chinese loess» // Quaternary Science Reviews. 1999. № 18. P. 865-869.
301. Matysek D., Raclavská H., Raclavský K. The deposition load of forest soils in beskydy mountains, Czech republic // 12th Regional Conference IUAPPA and 4th International Conference on "Environmental Impact Assessment PRAGUE 2000". Praha, 2000. P. 186-189.
302. Odat S., Alshammari A.M. Seasonal variations of soil heavy metal contaminants along urban roads: a case study from the city of Hail, Saudi Arabia // Jordan Journal of Civil Engineering. 2011. Vol. 5. № 4. P. 581-591.
303. Parth V., Murthy N.N., Saxena P.R. Assessment of heavy metal contamination in soil around hazardous waste disposal sites in Hyderabad city (India): natural and anthropogenic implications // Journal of Environmental Research and Management. 2011. Vol. 2 (2). P. 27-34.

304. Qian P., Zheng X., Zhou L. et al. Magnetic properties as indicator of heavy metal contaminations in roadside soil and dust along G312 Highways // *Procedia Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. P. 1370-1375.
305. Rawlins B.G., Lark R.M., O-Donnell K.E. et al. The assessment of point and diffuse pollution of soils from an urban geochemical survey of Sheffield, England // *Soils Use and Management*. 2005. V. 21. № 4. P. 353-362.
306. Rösler W., Blaha U., Appel E. MAGPROX-ein neues Verfahren zur Ermittlung großflächiger Bodenverunreinigungen // *TASK-Symposium*, June 23-24. 2009. P. 34.
307. Saragnese F., Lanci L., Lanza R. Nanometric-sized atmospheric particulate studied by magnetic analyses // *Atmospheric Environment*. 2011. Vol. 45. № 2. P. 450-459.
308. Schmidt A., Yarnold R., Hill M., Ashmore M. Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study // *Journal Geochem. Explor.* 2005. Vol. 85. P. 109-117.
309. Scholger P., Hanesch M., Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements // *Journal Environ. Geol.* 2002. №42. P. 857-870.
310. Tamrakar C.S., Shakya P.R. Assessment of Heavy Metals in Street Dust in Kathmandu Metropolitan City and their Possible Impacts on the Environment // *Pak. J. Anal. Environ. Chem.* 2011. Vol. 12. № 1-2. P. 32-41.
311. Topsoe H., Dumesic J.A., Boudart M. Mössbauer Spectroscopy of Stoichiometric and Non-stoichiometric Magnetite Microcrystal // *Journal de Physique*. 1974. Vol. 35. P. 411.
312. Yang T., Liu Q., Li H. et al. Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications // *Atmospheric Environment*. 2010. Vol. 44. № 9. P. 1175-1185.

313. Zawadzki J. The geostatistical reassessment of soil contamination with lead in metropolitan Warsaw and its vicinity *Journal // International Journal of Environment and Pollution*. 2008a. Vol. 35. № 1. P. 1-12.
314. Zawadzki J., Fabijanczyk P. Reduction of soil contamination uncertainty assessment using magnetic susceptibility measurements and CO\_Est method // *Proceedings of ECOpole*. 2008b. Vol. 2. № 1. P. 169-174.
315. Zawadzki J., Magiera T., Fabijańczyk P., Kusza G. Geostatistical 3-dimensional integration of measurements of soil magnetic susceptibility // *Environ Monit Assess*. 2012. Vol. 184 (5). P. 3267-3278.
316. Zimova M., Ďuris M., Spevackova V. et al. Health risk of urban soils contaminated by heavy metals // *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. 2001. Vol. 14. № 3. P. 231-234.