

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского
Геологический факультет

На правах рукописи



Маджид Длер Салам Маджид

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕТРОМАГНИТНЫХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (САРАТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

1.6.21. – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
к.г.н. М.В. Решетников

Саратов – 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	9
1.1 Исследования эколого-геохимических и магнитных свойств почв урбанизированных территорий	9
1.2 Исследования магнитных свойств почв для решения проблем почвоведения и агроэкологии	10
1.3 Исследования магнитных свойств почв при решении геоэкологических задач на урбанизированных и техногенно-нарушенных территориях	13
1.4. Исследования магнитных свойств донных отложений, придорожной пыли и других объектов на урбанизированных территориях	16
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	19
2.1 Краткая характеристика объектов исследования	20
2.1.1 Краткая характеристика города Вольска	20
2.1.2 Краткая характеристика города Петровска	23
2.1.3 Краткая характеристика города Хвалынска	25
2.2 Краткая характеристика методик исследования	27
2.2.1 Отбор и пробоподготовка образцов почв	27
2.2.2 Определение эколого-геохимических характеристик почв	28
2.2.3 Определение эколого-геофизических характеристик почв	28
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	31
3.1 Распределение подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемых урбанизированных территорий	31
3.1.1 Подвижные формы тяжелых металлов в почвах на территории города Вольска	31
3.1.2 Подвижные формы тяжелых металлов в почвах на территории города Петровска	47
3.1.3 Подвижные формы тяжелых металлов в почвах на территории города Хвалынска	61
3.1.4 Суммарное загрязнение почв исследуемых городов	76
3.2 Содержание органического вещества и нефтепродуктов в почвах	88
3.2.1 Органическое вещество и нефтепродукты в почвах города Вольска	88
3.2.2 Органическое вещество и нефтепродукты в почвах города Петровска	92
3.2.3 Органическое вещество и нефтепродукты в почвах города Хвалынска	94
ГЛАВА 4 ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДУЕМЫХ ПОЧВ	99
4.1 Петромагнитные свойства почв, исследуемых урбанизированных территории	99
4.1.1 Петромагнитные свойства почв на территории города Вольск	99
4.1.2 Петромагнитные свойства почв на территории города Петровск	108
4.1.3 Петромагнитные свойства почв на территории города Хвалынск	117
4.2 Сопоставление результатов эколого-геофизических и эколого-геохимических исследований почв	126
4.3 Рекомендации по оптимизации урбогеосистем	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	133

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в связи с развитием процесса урбанизации и ростом промышленного производства почвенный покров повсеместно загрязняется различными поллютантами [4, 11, 36, 50, 58, 59, 60, 66, 73]. Наибольшее распространение и экологическую опасность представляют тяжелые металлы (ТМ) и нефтепродукты (НП), которые отрицательно влияют на физические, биологические и экологические свойства почв. Загрязнение почв ТМ и НП должно подлежать строгому контролю, так как эти поллютанты легко включаются в трофические цепи и могут в течение долгого времени опасно воздействовать на живые организмы, включая человека.

На урбанизированных территориях почвы могут подвергаться комбинированному негативному воздействию сразу от нескольких источников и различными загрязнителями. В пределах крупных промышленных городов, а также региональных центров проблема загрязнения почвенного покрова достаточно детально изучена. Особое внимание в этом направлении необходимо уделить изучению эколого-геохимического состояния почв в пределах небольших населенных пунктов, так как эти территории практически выпадают из зоны наблюдения надзорных природоохранных органов.

В настоящее время продолжается поиск наиболее эффективных индикаторных почвенных параметров для проведения экспрессного и информативного эколого-геохимического и эколого-геофизического мониторинга урбанизированных территорий. Одними из таких параметров могут служить петромагнитные свойства почвенного покрова. Применение петромагнитного метода при решении эколого-геофизических задач в последние годы приобретает всё большее значение. Однако фактологическая основа использования петромагнитного метода при изучении почвенного покрова урбанизированных территорий требует более детальной разработки.

Объектом исследования являются урбанизированные территории Правобережья Саратовской области: города Вольск (61,9 тыс. жителей), Петровск (28,2 тыс. жителей) и Хвалынский (12,3 тыс. жителей).

Предметом исследования являются эколого-геохимические и эколого-геофизические параметры почвенного покрова исследуемых урбанизированных территорий.

Цель работы – выявление взаимосвязей между эколого-геохимическими и эколого-геофизическими параметрами при диагностике геоэкологического состояния почв урбанизированных территорий с различным уровнем населения и антропогенной нагрузкой.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Изучить эколого-геохимическое состояние почвенного покрова городов Вольска, Хвалынского, Петровска (Саратовская область) по результатам определения содержания подвижных форм ТМ, органического вещества и НП;

2. Исследовать петромагнитные свойства (магнитная восприимчивость, её частотная зависимость, термомагнитный эффект) почв исследуемых городских территорий для оценки степени их техногенной трансформации;

3. Определить корреляционные и пространственные взаимосвязи между эколого-геохимическими и эколого-геофизическими параметрами почв на территории населенных пунктов;

4. Установить целесообразность использования петромагнитных показателей для диагностики почв урбанизированных территорий с различной численностью населения и антропогенной нагрузкой.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 – «Геоэкология» по пунктам: 1.8. «Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны»; 1.11. «Геоэкологические аспекты функционирования природно-

технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем»; 1.12. «Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля».

Научная новизна исследования состоит в следующем.

1. Впервые для исследуемых территорий выполнено комплексное эколого-геохимическое (по результатам определения тяжелых металлов, нефтепродуктов, органического вещества) и эколого-геофизическое (по результатам изучения магнитной восприимчивости, её частотной зависимости, термомагнитного коэффициента) обследование почвенного покрова.

2. Проведена оценка эколого-геохимического состояния почв исследуемых городских территорий с учётом различных методических подходов. Установлено наличие поэлементных эколого-геохимических аномалий со значительным превышением нормативных показателей. Рассчитаны суммарные коэффициенты загрязнения почв по коэффициентам концентрации и опасности, а также индекс суммарного загрязнения почв. Выявлены наиболее информативные показатели суммарного загрязнения почв.

3. Выполнена оценка степени техногенной трансформации почв урбанизированных территорий на основе исследования их магнитных свойств (магнитная восприимчивость и её частотная зависимость). Зафиксирован заметный рост магнитной восприимчивости почв населенных пунктов по сравнению с их фоновыми аналогами. Изучены взаимосвязи между эколого-геохимическими и эколого-геофизическими аномалиями в почвах. Дана оценка использования метода изучения магнитных свойств при изучении геоэкологического состояния почв урбанизированных территорий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Диссертационное исследование может быть использовано при усовершенствовании методики проведения геоэкологического мониторинга почвенного покрова урбанизированных территорий с различной численностью населения и антропогенной нагрузкой. Результаты могут быть использованы специалистами экологами и почвоведом при проведении мероприятий в рамках экологического

мониторинга в пределах изученных городских территорий; геохимиками и геоэкологами при ранжировании урбанизированных территорий по степени геохимической опасности; при проведении различных экспертиз и выявлению нарушений законодательства в сфере охраны окружающей среды.

Результаты исследований могут быть востребованы администрациями муниципалитетов, Министерствами Саратовской области – по делам территориальных образований; строительства и жилищно-коммунального хозяйства; природных ресурсов и экологии при принятии решения о проведении природоохранных мероприятий. Новые данные также могут быть использованы местным населением при проведении сделок по земельным участкам.

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование базируется на фундаментальных принципах проведения эколого-геохимического изучения почв с применением экспериментальных методов. Применяемые в диссертации методы согласуются с поставленными целью и задачами. В ходе исследования и изложения материала автором применялся ряд методов: метод анализа литературных источников; традиционные методы при отборе проб почв и пробоподготовке. При лабораторных аналитических исследованиях, выполнявшихся в лаборатории геоэкологии геологического факультета Саратовского университета, применялись: атомно-абсорбционный метод определения кислоторастворимых форм тяжелых металлов (на атомно-абсорбционном спектрофотометре «КВАНТ-2АТ»); гравиметрический метод определения массовой концентрации нефтепродуктов; метод Тюрина в модификации ЦИНАО при определении органического вещества. Измерения магнитной восприимчивости почв проводилось на статическом мультчастотном измерителе магнитной восприимчивости – каппа-мост МФК1-FB в лаборатории петрофизики Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского. Проведенный статистический анализ результатов измерений и определений обеспечил объективность и достоверность выводов.

Положения, выносимые на защиту.

1. В каждом городе формируется индивидуальный геохимический ряд загрязнителей, связанный своим происхождением как с природными, так и с антропогенными источниками их поступления. По результатам исследований, для почв исследуемых населенных пунктов, установлены следующие геохимические ряды (по превышению над ПДК): город Вольск – Pb>Cu>Zn>Ni>Cd>Cr, город Петровск – Cu>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr, город Хвалынский – Cu>Zn>Ni>Pb>Cd>Cr. Основными загрязнителями почв исследуемых населенных пунктов являются медь, свинец, цинк и никель, а концентрации хрома и кадмия не превышают ПДК;

2. Концентрация органического вещества в городских почвах (г. Вольск – 1,88%, г. Петровск и г. Хвалынский – 1,95%) снижается относительно почв фоновых участков (2,25%), что указывает на активную антропогенную трансформацию и потерю плодородия городских почв. Одновременно с этим процессом отмечается повсеместное загрязнение почв нефтепродуктами. По результатам исследований максимально установленные концентрации нефтепродуктов в почвах исследуемых городов составили: город Вольск – 11420 мг/кг, город Петровск – 9360 мг/кг, город Хвалынский – 8020 мг/кг, при нормативном показателе в 1000 мг/кг. Наблюдаемые процессы являются одним из диагностических показателей почв урбанизированных территорий;

3. Магнитные свойства почв – магнитная восприимчивость (удельная и объемная), частотная зависимость магнитной восприимчивости и терромагнитный коэффициент – надежные диагностические показатели при оценке степени антропогенной трансформации городских почв.

Степень достоверности и апробация результатов. Диссертационное исследование выполнялось при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-35-90019 «Магнитная восприимчивость и концентрация тяжелых металлов в почвах урбанизированных территорий Саратовской области (города Вольск, Петровск и Хвалынский)», и при финансовой поддержке гранта Президента РФ, проект МК-3355.2019.5 «Эколого-

геохимические и петромагнитные аспекты формирования аномалийных зон в почвах урбанизированных территорий в пределах Саратовской области».

Материалы исследований включены в программы учебных курсов «Экология» и «Геохимия» для студентов Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, и курсов «Почвоведение и инженерная геология» и «Мониторинг земель» Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина.

Основные положения диссертации обсуждены на Всероссийских научных конференциях «Геологи XXI века» (Саратов, 2018–2020 г.); Международных научных и научно-практических конференциях «Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств» (Республика Беларусь, Гомель, 2018 г.); «Экологические проблемы природо- и недропользования. Наука и образование. «ЭКОГЕОЛОГИЯ – 2018» (Санкт-Петербург, 2018); «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы» (Севастополь, 2019) и других. По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них: 2 – в изданиях, входящих в базу данных Scopus, 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 – зарегистрированные базы данных (Роспатент) (приравнены к публикации ВАК).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (117 источников). Общий объем работы 148 страниц. Работа содержит 65 рисунков, 10 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю к.г.н. М.В. Решетникову за всестороннюю помощь при подготовке диссертационной работы. Автор благодарит сотрудников геологического факультета СГУ имени Н.Г. Чернышевского: к.г.-м.н., заведующего кафедрой общей геологии и полезных ископаемых В.Н. Ерёмину за постоянную поддержку при подготовке работы; д.г.-м.н., профессора А.Ю. Гужикова за содействие при проведении петромагнитных исследований; к.г.н., заведующего лабораторией геоэкологии А.С. Шешнёва за помощь при создании графических приложений.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Исследования эколого-геохимических и магнитных свойств почв урбанизированных территорий

Проблема загрязнения почв урбанизированных территорий изучается на протяжении многих десятилетий и к настоящему времени существует огромное количество публикаций, отражающих многогранность проблемы. Началом активных работ по изучению эколого-геохимических особенностей городских ландшафтов в России можно считать появление в конце 1960-х годов статей М.А. Глазовской, посвященных техногенезу, ландшафтно-геохимическому прогнозированию и технобиогеомам. В дальнейшем исследования в этом направлении были реализованы в фундаментальных монографиях М.А. Глазовской и её последователей [27, 32, 69, 75].

Вопросы распределения тяжелых металлов в почвах городских территорий детально рассмотрены и обобщены в работах В.А. Алексеенко и коллег [2, 3, 4] и других авторов [8, 10, 11]. Особая роль оксидов железа в процессе почвообразования и распределении тяжелых металлов в почвах истощающе изложена в монографиях Ю.Н. Водяницкого [13-16].

Основной целью нашей работы является поиск взаимосвязей между эколого-геохимическими (концентрация кислоторастворимых форм тяжелых металлов, нефтепродуктов и гумуса) и эколого-геофизическими (магнитная восприимчивость, частотная зависимость магнитной восприимчивости, термомагнитный коэффициент) параметрами почв урбанизированных территорий для обоснования применения петромагнитного метода при проведении их геоэкологического опробования. Применение петромагнитного метода основано на измерении магнитной восприимчивости почв, которая формируется за счет магнитных минералов железа, в основном оксидов и гидроксидов, образуемых в процессе почвообразования. В условиях техногенеза в почвы поступает большое количество техногенных соединений железа, которые приводят к увеличению

значений магнитной восприимчивости, что может являться диагностическим показателем не только для городских почв, но и в целом почв техногенно-нарушенных территорий. Применение метода измерения магнитной восприимчивости почв для различных почвоведческих, агроэкологических и урбоэкологических задач находит отражение в многочисленных работах как российских, так и зарубежных авторов.

1.2 Исследования магнитных свойств почв для решения проблем почвоведения и агроэкологии

Значение оксидов железа в концентрации гумуса проявляется при образовании продуктов органоминерального взаимодействия. Формирование органоминеральных соединений способствует накоплению гумуса и является неотъемлемой чертой высокопродуктивных почв [13].

Взаимодействия органического вещества с минеральной частью почв рассмотрены в работах Л.Н. Александровой, Д.С. Орлова, М. Мортланда и многих других исследователей. Л.Н. Александрова предлагает группировку органоминеральных соединений, состоящую в первую очередь из комплексных гетерополярных солей [1]. В них железо входит в состав анионной части органической молекулы и не способно к реакциям ионного обмена. Комплексные гетерополярные соли железа на основе низкомолекулярных кислот фульватной природы растворимы в воде и свободно мигрируют в профиле почв, в частности, в таежной зоне. Из-за своей подвижности они слабо задерживаются в верхнем горизонте при промывном водном режиме и поэтому мало способствуют накоплению гумуса в пахотном слое.

Противоположный эффект происходит при формировании комплексных гетерополярных солей на основе высокомолекулярных кислот гуматного типа. Гуматы железа активно взаимодействуют с минеральной частью почвы и способствуют образованию агрономически ценной структуры. Сорбционные комплексы, состоящие из кристаллов гидроксидов железа, менее подвижны по

сравнению с хелатами, где железо находится в ионной форме. Именно сорбцией органического вещества на поверхности кристаллов гидрооксидов железа и алюминия объясняют накопление гумуса в ряде почв. Исходя из этих физико-химических предпосылок взаимосвязи между магнитными минералами железа и органическим веществом почвы, обосновываются взаимосвязи между магнитной восприимчивостью почв и её плодородием, о чем свидетельствует ряд работ, выполненных отечественными исследователями в различные годы [1].

В ряде диссертационных работ магнитная восприимчивость используется для решения общих проблем почвоведения и агроэкологии. Н.А. Бусоргина приходит к выводам о том, что корреляционные взаимоотношения агрохимических параметров почв с их магнитными свойствами разрешают применять магнитную восприимчивость при составлении агрохимических картограмм нуждаемости почвы в известковании [7].

Исследования Л.А. Обыденовой показывают, что высокая корреляция гранулометрических и агрохимических параметров с магнитной восприимчивостью позволяют рекомендовать показатели магнитной восприимчивости при обосновании характеристики плодородия почв и их бонитировке [51].

В диссертации О.А. Страдиной сделан вывод о том, что корреляционные взаимоотношения магнитной восприимчивости загрязненных участков с концентрацией тяжелых металлов рекомендуют применять магнитную восприимчивость как диагностический параметр загрязнения их тяжелыми металлами, в том числе для выделения участков, загрязненных тяжёлыми металлами при помощи метода измерения магнитной восприимчивости [67, 68].

И.М. Вагапов обнаружил закономерности пространственной изменчивости показателя магнитной восприимчивости в почвах разных элементов палеокриогенного микрорельефа. Автору впервые удалось уточнить представления о формировании палеокриоморфных почв на основе измерений магнитной восприимчивости [9].

Л.А. Фаттахова установила, что методы измерения магнитной восприимчивости гарантируют диагностику нижней границы старопашотного горизонта в залежных почвах и дают возможность оценить пространственную неоднородность его мощности в пределах сельскохозяйственных угодий [70-72].

В работах зарубежных исследователей особое значение уделяется применению методов измерения магнитных свойств почв при определении степени эрозии почвенного покрова сельскохозяйственных угодий. Например, в работе установлено, что измерение магнитной восприимчивости почв имеет большой потенциал при мониторинге процесса эрозии почв и построении моделей водной эрозии почв в больших пространственных и временных масштабах [98]. Определено, что изменения магнитной восприимчивости почв тесно связаны с интенсивностью выпаса скота, агрегатным состоянием почвы и концентрацией органического вещества, что свидетельствует о высокой чувствительности процессов эрозии почв к ее свойствам. Установлена положительная корреляция магнитных свойств почв (магнитная восприимчивость и частотная зависимость магнитной восприимчивости) со скоростью эрозии почв и отрицательная корреляция со скоростями осаждения пыли, что указывает на потенциальную возможность применения анализируемых параметров для идентификации стадий эрозионных процессов и пылевого осаждения частиц в полусухих пастбищах.

Исследования показали, что измерения магнитной восприимчивости можно использовать при оценке перераспределения почв. Авторами установлено, что распределение значений магнитной восприимчивости почв имеет различные особенности на лесных почвах и почвах сельскохозяйственных угодий с различным периодом культивации, а изучение магнитных свойств почв можно использовать для мониторинга почв [112].

Н. Preetz с соавторами в работе выявили возможность применения данных о магнитных свойствах тропических почв при индикации выветривания [107]. Показано, что окраска тропических почв, сформировавшихся на кислых магматических породах, глинах и глинистых сланцах, а также значения их

магнитной восприимчивости и частотной зависимости магнитной восприимчивости обычно увеличиваются с ростом степени выветривания почв.

1.3 Исследования магнитных свойств почв при решении геоэкологических задач на урбанизированных и техногенно-нарушенных территориях

Особое значение в развитии методов исследования магнитной восприимчивости при изучении городских почв внесли работы следующих авторов.

О.А. Миков провел исследования в пределах Томской области и определил, что почвы в районах техногенного воздействия определяются высокими значениями магнитной восприимчивости. Характер колебания магнитной восприимчивости почв на загрязнённых участках с глубиной изменяется от такового для почв вне участков промышленного воздействия. Автором установлена косвенные взаимосвязи магнитной восприимчивости почв с показателями заболеваемости детей [46].

В работе М.А. Гладышевой обоснован метод оценки промышленного воздействия на поверхность города и его изменения, базирующийся на измерении магнитных параметров и природных статистических характеристиках распределения магнитной восприимчивости почв. Установлено, что измерение магнитных свойств возможно применять как экспрессный метод обследования городских земель для установления областей загрязнения [19, 20].

В.В. Пронина установила, что в почвах в пределах влияния подземных хранилищ газа в результате взаимоотношений метана с различными компонентами почв образуются биогеохимические барьеры, на которых происходит рост значений магнитной восприимчивости и концентрации минералов железа [56]. Таким образом, измерения магнитной восприимчивости можно использовать при картировании техногенно-изменённых почв в зоне влияния подземных хранилищ природного газа.

В дальнейшем Н.В. Можарова обнаружила, что преобразование метана происходит в открытых циклах и процессах микробиологического разрушения, и протекает с образованием углекислого газа, транспортировкой его в атмосферу и образовании почвенных включений магнетита путем кислородной метилтрофной и бескислородной ферментирующей железоредукции [44, 45].

М.В. Косныревой проведено научное обоснование для практического применения магнитных и георадиолокационных съёмок при решении задач почвенного картирования и предложен рациональный алгоритм спектрально-корреляционного анализа площадных магнитных наблюдений, позволяющий составлять формализованные прогнозные экспресс-карты, отражающие неоднородность почвенного покрова [30].

О.Б. Рогова на основании полевых измерений магнитной восприимчивости провела оценку степени техногенного загрязнения пылевыми выбросами почв района Череповецкого металлургического комбината и предложила градацию степени загрязнения, основанную на измерениях величины магнитной восприимчивости почв [63].

А.Н. Чашин установил, что площадная и вертикальная неоднородность природного почвенно-геохимического фона, обремененная техногенным загрязнением компонентов окружающей среды и применением в пределах городов металлошлаков, определяет разделение почв по степени содержания тяжелых металлов и магнетита. Для почв города Чусовой определены корреляционные взаимосвязи между концентрацией тяжелых металлов (ванадий, хром, марганец, цинк и никель) и магнитной восприимчивостью, обусловленные высокими концентрациями магнетита [70].

Е.С. Лобанова, изучая почвенный покров на территории города Перми, установила, что высокая вертикальная и площадная разнородность магнитной восприимчивости почв обусловлена генетическими и антропогенными факторами разделения количества и состава магнитных минералов. Установлено, что ферримагнитные минералы почв Перми обусловлена нестехиометрическим

магнетитом с разным уровнем изменений его структуры, а сам магнетит взаимосвязан с тяжелыми металлами (никель–хром и цинк–медь–свинец) [33].

География исследований магнитных свойств почв на территории Российской Федерации тесно связана с расположением научных коллективов, занимающихся изучением данной проблематики. Вследствие чего неравномерно изучены вопросы поведения магнитных свойств почв урбанизированных территорий, расположенных в различных ландшафтно-климатических зонах, в частности, лесостепной и степной.

Значительный пласт вопросов, связанных с магнитными свойствами почв городских территорий, рассматривается в работах зарубежных исследователей, которые детально проработали различные аспекты изучаемой проблемы. Использование магнитных свойств почв для определения источников загрязнения является частой практикой как надежный метод оценки загрязненных участков [79, 92, 100].

В последние десятилетия изучение магнитных свойств почв использовалось для изучения загрязнения городских почв и донных отложений тяжелыми металлами. О положительной корреляции между значениями магнитной восприимчивости и концентрацией тяжелых металлов сообщалось во многих работах [83, 84, 87, 89, 95, 96, 99, 106, 109]. При исследованиях почв в пределах города Бени-Меллал (Марокко) были установлены положительные корреляционные связи магнитной восприимчивости и концентрации свинца, меди и цинка, что связано с плотностью движения автомобильного транспорта в городе, оказывающего сильное влияние на загрязнение почв тяжелыми металлами [86].

В работе исследователей Исфаханского университета на территории города Ахваз установлены положительные корреляционные взаимоотношения между магнитной восприимчивостью и концентрацией никеля и хрома [78]. В районах, прилегающих к металлургическому производству, выявлен рост значений магнитной восприимчивости и концентрации цинка, меди, марганца, кобальта и

железа; полученные результаты авторам предлагают использовать на территориях со схожей техногенной нагрузкой.

Однако не всегда эти связи обусловлены антропогенным загрязнением. Примером служит территория города Мешхед (Иран), в почвах которого изучалась магнитная восприимчивость и концентрация тяжелых металлов (железо, никель, свинец и цинк). Положительные корреляции установлены между магнитной восприимчивостью и концентрацией никеля и оказалось, что магнитная восприимчивость обусловлена никельсодержащими минералами литогенного происхождения, что не позволяет в данном случае использовать петромагнитные данные как индикатор антропогенного загрязнения почв [95].

Несмотря на это, магнитное картирование почв является важным инструментом при оценке загрязнения [111] и активно применяется при картировании загрязнения металлами [90, 113]. Магнитное картирование может использоваться в качестве начального этапа для дальнейших мониторинговых исследований на региональном и более высоких уровнях и в результате совместимости с геохимическим анализом его можно определять, как простой и экспрессный инструмент для определения загрязнения металлами [85]. Однако из-за больших вариаций опорного сигнала в результате почвенных процессов и других природных условий, таких как литология материнских пород, надежность магнитной индикации по-прежнему остается проблемой в незагрязненных или относительно незагрязненных почвах [94].

1.4. Исследования магнитных свойств донных отложений, придорожной пыли и других объектов на урбанизированных территориях

Помимо почв на урбанизированных территориях, активно исследуются донные отложения [81, 82], дорожная пыль [114, 116, 117] и проводятся палеоклиматические исследования [77, 80, 101-104].

Уличная пыль представляет собой сложную смесь различных компонентов, которые в основном поступают из природных и антропогенных источников [108,

109]. Природные источники представляют собой атмосферные выпадения, продукты выветривания почв, выпадения пыли из пустынных областей, вулканический пепел и материал, образуемый при природных пожарах [114]. Антропогенные источники представляют собой выбросы промышленного производства, транспортных потоков и сельского хозяйства [88, 91, 97, 110, 115]. Уличная пыль, поступающая с выпадением атмосферных осадков, становится причиной загрязнения почв в пределах городов [93].

В исследовании китайских специалистов на основании изучения 133 образцов уличной пыли установлено, что пыль состоит из ферромагнитных, диамагнитных и парамагнитных минералов, среди которых доминирующими магнитными носителями являются ферромагнитные минералы. Магнитная восприимчивость городской пыли на порядок выше, чем у образцов пыли с фоновых участков. Установлена дифференциация значений магнитной восприимчивости городской пыли в зависимости от уровня техногенной нагрузки в районах города, что позволяет данный метод эффективным инструментом мониторинга загрязнения городской среды [115].

Таким образом, проанализировав литературные источники по применению метода изучения магнитной восприимчивости почв урбанизированных территорий для решения геоэкологических задач, очевидной представляется перспективность его применения. Несмотря на наличие большого объема литературных данных, ряд вопросов о распределении магнитных свойств почв и их взаимосвязи с геохимическими параметрами почв остаются изученными не в полной мере. Особенный интерес представляет вопрос взаимосвязей между магнитными и геохимическими свойствами почв урбанизированных территорий с различным уровнем населения и антропогенной нагрузкой.

В настоящей работе представлены результаты исследований почв на урбанизированных территориях в пределах Саратовской области на юго-востоке Европейской части Российской Федерации. Территории исследуемых городов (Вольск, Петровск и Хвалынский) расположены в пределах лесостепной зоны, примерно одинакового времени основания, но в настоящее время имеют

различный уровень численности населения, характер и степень антропогенной нагрузки.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования рассматриваются территории трех городов, расположенных в Саратовской области, – Вольск, Петровск и Хвалынский (рисунок 2.1). На их территориях проведен отбор проб почв с целью изучения его эколого-геохимических и эколого-геофизических характеристик для оценки геоэкологического состояния.

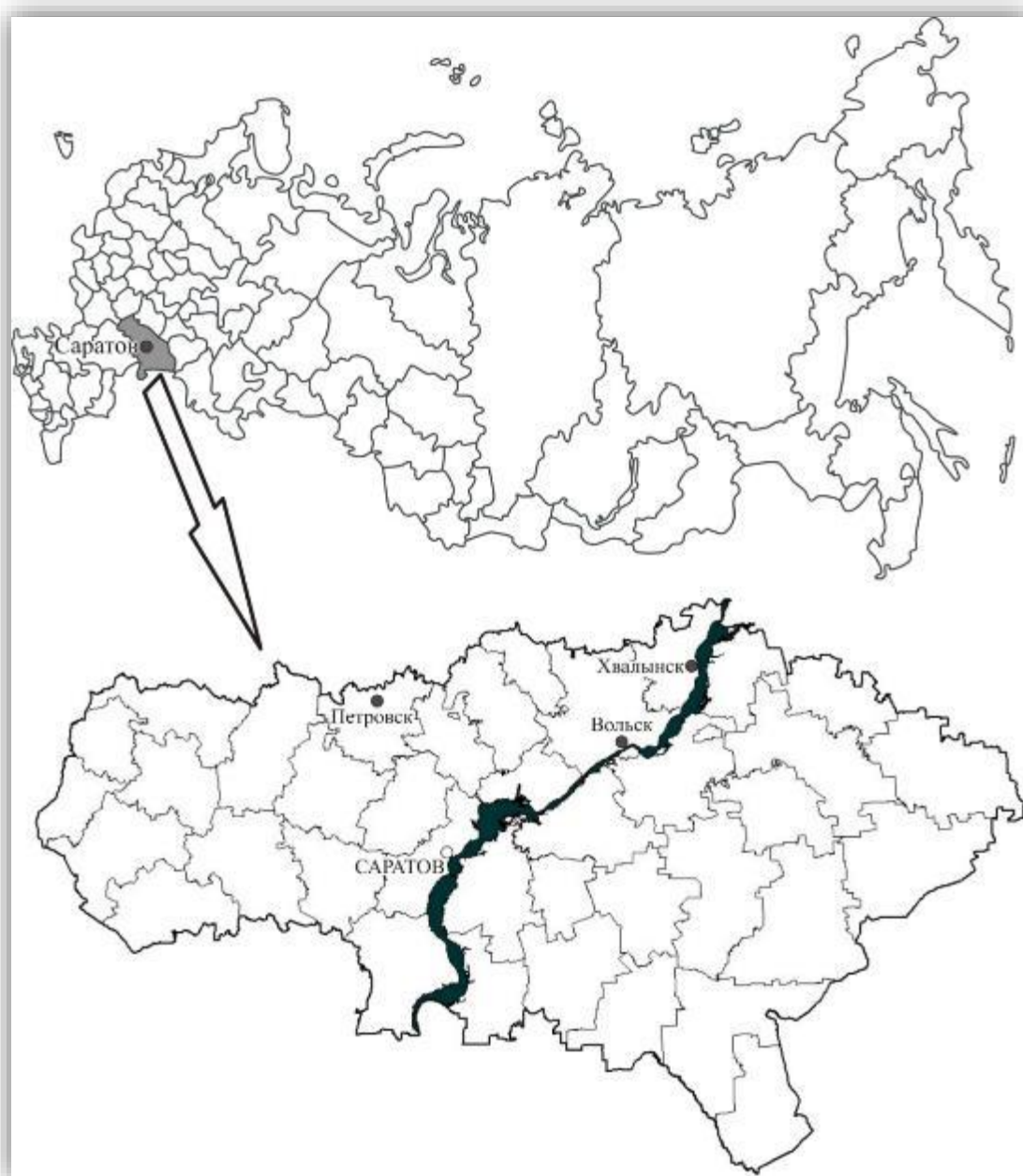


Рисунок 2.1 – Обзорная схема расположения объектов исследования (составлено автором)

Выбор объектов исследования определяется стремлением оценить геоэкологическое состояние почвенного покрова на урбанизированных территориях с различным уровнем населения и антропогенной нагрузкой. Все три города имеют схожую историю возникновения, но в новейшее время пути их развития разошлись. Основанные как пограничные поселения практически в одно и то же время, до начала XX века населенные пункты были центрами аграрного производства. На рубеже XIX–XX веков и далее при индустриализации развитие этих городов пошло по разным траекториям: наиболее экономически и промышленно развитым стал город Вольск, а наименее развитым – Хвалынский, устойчиво уменьшающий численность населения с середины XX века. Таким образом, исследование геоэкологического состояния почв этих городов позволяет оценить влияние численности населения и разного уровня развития промышленности на трансформацию почвенного покрова.

Для оценки геоэкологического состояния почв проведено изучение ряда эколого-геохимических (содержание подвижных форм тяжелых металлов, концентрация гумуса и нефтепродуктов) и эколого-геофизических (магнитная восприимчивость, частотная зависимость магнитной восприимчивости, термомагнитный эффект) характеристик. Выполнена оценка геоэкологического состояния почв по существующим методикам и нормативным требованиям, построены тематические картографические материалы. Ниже в главе приводятся данные краткие характеристики объектов и методик исследования.

2.1 Краткая характеристика объектов исследования

2.1.1 Краткая характеристика города Вольска

Город Вольск площадью 148 км² и населением 63,2 тысяч человек (на 2018 год). Основан в 1690 году и с 1780 года получил статус уездного города, а с 1928 года является административным центром Вольского района. Город расположен в северо-восточной части Саратовской области в лесостепной зоне, на

правобережье реки Волги в котловине, ограниченной меловыми возвышенностями. Длина по берегу Волгоградского водохранилища равна 10 км. Тип почв, распространённый в пределах города и в окрестностях – черноземы, сформировавшиеся на карбонатах. Всего на территории Вольска отобрано 50 почвенных образцов, а также 10 почвенных образцов на фоновом участке (рисунок 2.2).

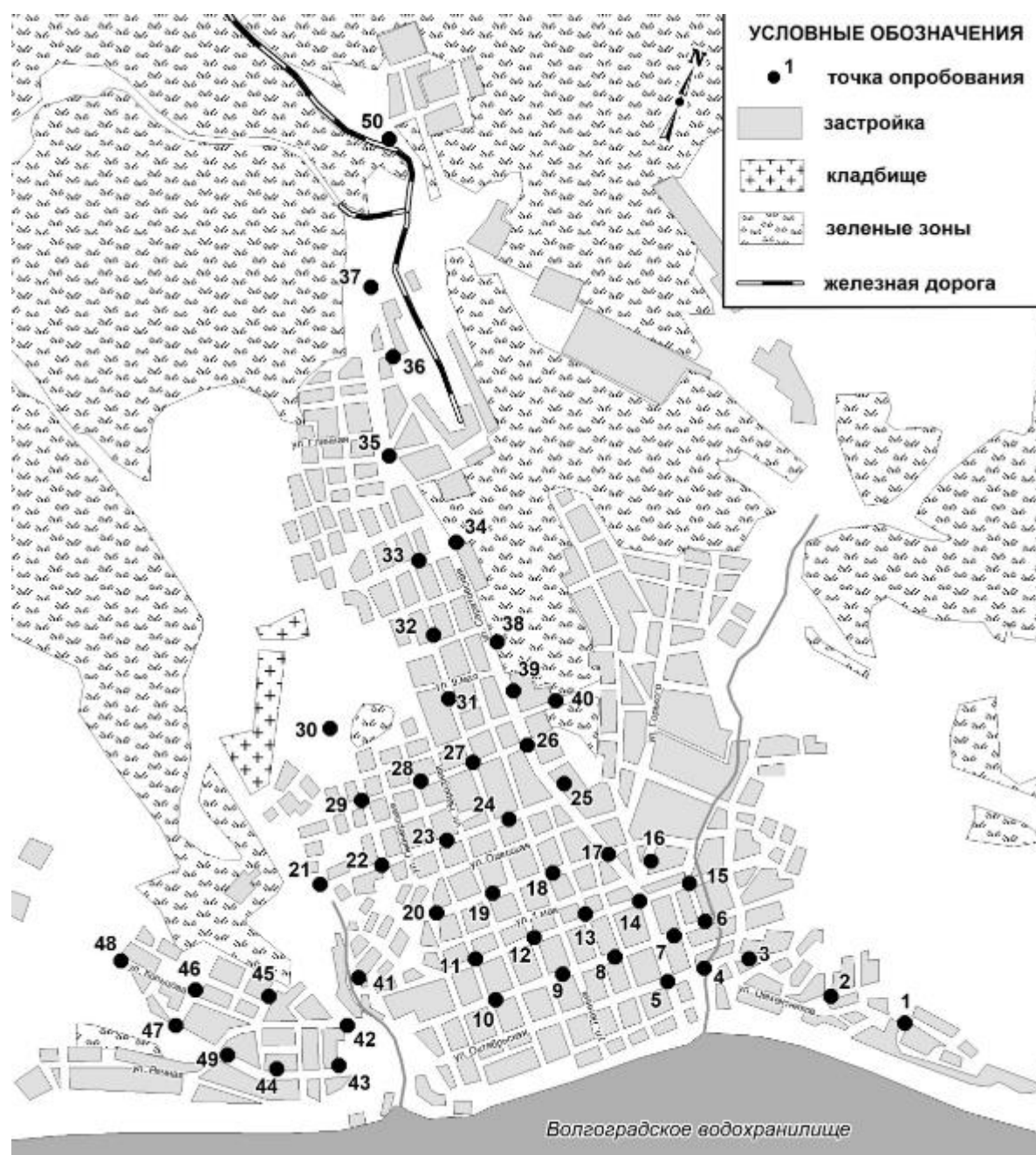


Рисунок 2.2 – Схема отбора почвенных образцов на территории города Вольск

Промышленный комплекс Вольского района сложился под влиянием ряда факторов, в числе которых особую роль представляло географическое положение и историческое освоение территории. Нахождение на Волге привело к возникновению в пределах района ряда поселений, специализирующихся на рыбном промысле.

Массовые миграционные процессы во второй половине XIX века способствовали бурному освоению целинных степей под посев зерновых культур. Ведущую роль в экономике играло сельское хозяйство. К концу XIX века город становится крупным экспортером зерна. Заволжская пшеница котируется как одна из лучших на рынках страны, а затем и Европы. Развитие промышленности началось с созданием в конце XIX века мукомольных предприятий и лесопильного завода, а в дальнейшем – нескольких цементных заводов.

Экономика района в настоящее время представлена тремя неравноценными секторами хозяйственной деятельности:

– *первичный сектор* (сельское и лесное хозяйство, добывающая промышленность). Полноценным из его составляющих в районе является только сельское хозяйство. Добывающая промышленность, представленная природными строительными материалами, имеет ограниченные возможности преимущественно местного значения. В районе разведаны месторождения мела, цементного и кирпично-черепичного сырья. Лесное хозяйство также имеет определенную базу для развития;

– *вторичный сектор* (энергетика, обрабатывающая промышленность, строительство) – наиболее мощное звено в хозяйственном комплексе района. В первую очередь это предприятия промышленности строительных материалов, значение которых выходит далеко за пределы не только района, но и области в целом. Более скромное место занимает машиностроение и металлообработка, которые играют роль обслуживающих для других направлений промышленного комплекса района;

– *третичный сектор* (транспорт, связь, финансы, торговля, образование, здравоохранение, рекреационная деятельность и другие виды производственных и

социальных услуг) – обеспечивает функционирование первичного и вторичного секторов экономики района; достаточно сбалансирован по своей структуре, хотя отдельные его составляющие весьма неравноценны по уровню развития и значению.

В структуре промышленного комплекса максимальные объемы производства приходятся на предприятия, осуществляющие производство неметаллических продуктов. Ведущее место занимает ОАО «Вольскцемент», которое обеспечивает от 5 до 10% роста объемов производства. Особенность промышленного производства района – крайне высокая степень концентрации в одном центре – г. Вольске. Здесь размещаются практически все промышленные предприятия района.

2.1.2 Краткая характеристика города Петровска

Город Петровск площадью 27,3 км² и с населением 28,2 тысяч человек (на 2020 год). Основан в 1698 году, с 1780 года получил статус уездного города, а с 1928 года является административным центром Петровского района. Город расположен северной части Саратовской области в лесостепной зоне. Основной тип почв, распространённых на территории города и в окрестностях – черноземы. Всего на территории Петровска отобрано 33 почвенных образца, а также 10 почвенных образцов на фоновом участке (рисунок 2.3).

Для Петровского муниципального района характерно сокращение количества предприятий. Промышленный комплекс сложился под влиянием ряда факторов, в числе которых особую роль сыграли особенности расположения и природные условия.

– *вторичный сектор* (пищевая промышленность, обрабатывающая промышленность, строительство) – развитой сектор экономики района;

– *третичный сектор* (транспорт, связь, финансы, торговля, образование, здравоохранение, рекреационная деятельность и другие виды производственных и социальных услуг) – обеспечивает функционирование первичного и вторичного секторов экономики района.

Промышленность района отличается значительной территориальной концентрацией. На долю Петровска приходится более 90% всего районного промышленного производства. Здесь расположены все ведущие промышленные предприятия, в том числе машиностроение и металлообработка (ЗАО «ПЗО АМО ЗИЛ», ФГУП «ПЭМЗ «Молот») специализируется на производстве технического оборудования, а также пищевая промышленность (ЗАО «Петровскхлеб», ЗАО «Молочный завод «Петровский», ОАО Птицесовхоз «Петровский»).

2.1.3 Краткая характеристика города Хвалынска

Город Хвалынск площадью 46 км² насчитывает 12,3 тысячи жителей (2020 год). Основан в 1556 году, с 1780 года получил статус уездного города, а с 1965 года является административным центром Хвалынского района. Город расположен в северо-восточной части Саратовской области, в лесостепной зоне и окружён меловыми холмами. Основной тип почв, распространённых на территории города и в окрестностях, – черноземы. Всего на территории Хвалынска отобрано 45 почвенных образцов, а также 10 почвенных образцов на фоновом участке (рисунок 2.4).

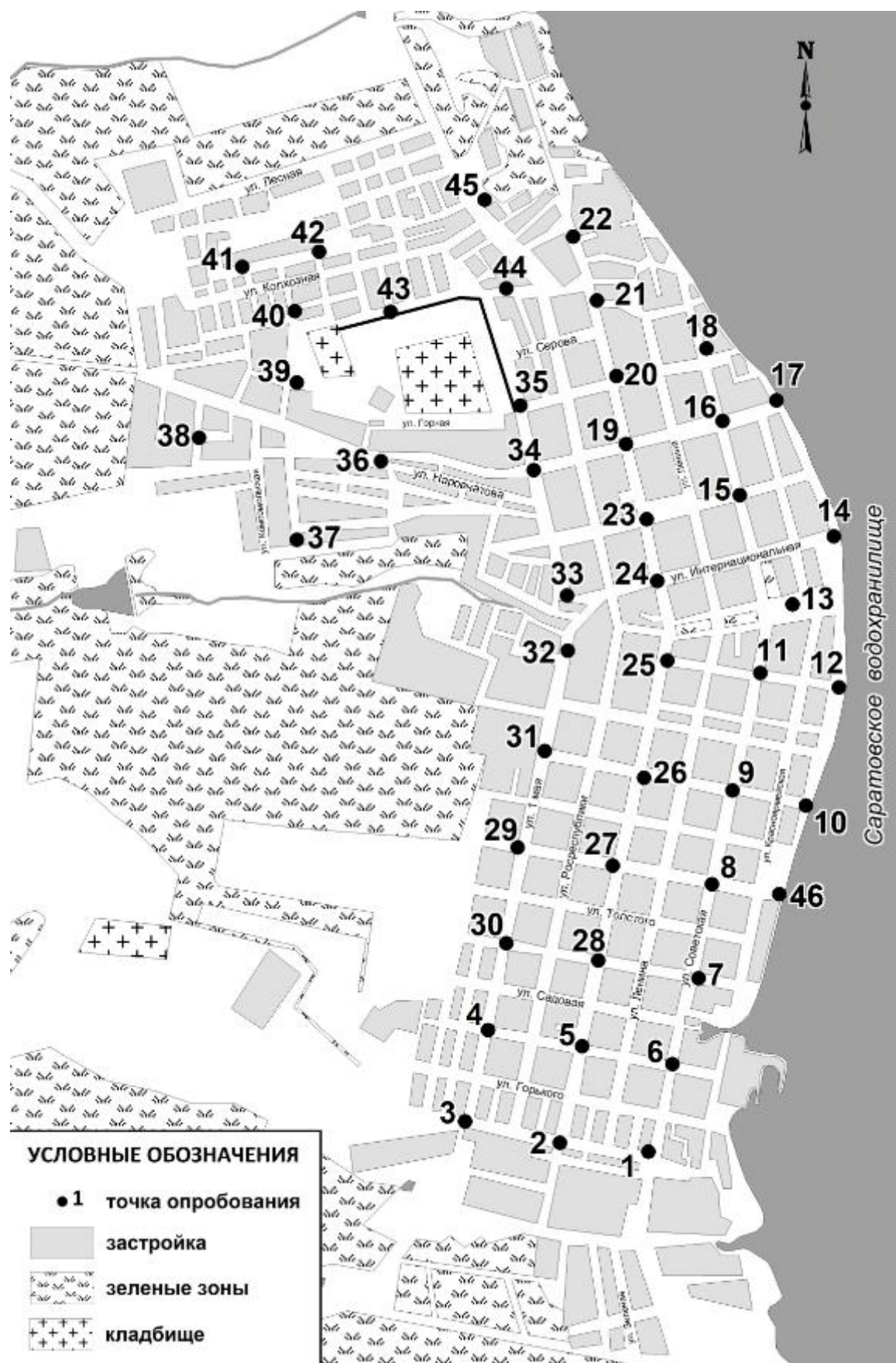


Рисунок 2.4 – Схема отбора почвенных образцов на территории города Хвалынск

Промышленный сектор Хвалынского района сложился под влиянием ряда факторов, в числе которых особую роль сыграли особенности его географического положения и климата. Экономика района в настоящее время представлена тремя секторами:

– *первичный сектор* (сельское и лесное хозяйство, добывающая промышленность). Добывающая промышленность в районе состоит из добычи общераспространенных полезных ископаемых. Лесное хозяйство состоит из лесхоза;

– *вторичный сектор* (пищевая промышленность, обрабатывающая промышленность, строительство) – развитый сектор экономики района;

– *третичный сектор* (транспорт, связь, финансы, торговля, образование, здравоохранение, рекреационная деятельность и другие виды производственных и социальных услуг) – в основном обеспечивает функционирование первичного и вторичного секторов экономики района.

На долю Хвалынска приходится около 90% всего районного промышленного производства. Здесь, а также в пос. Возрождение расположены все ведущие промышленные предприятия, в том числе пищевая промышленность (ОАО «Черемшанское», ЗАО маслодельный завод «Хвалынский», компания «Хвалынские пельмени»), а также машиностроение и металлообработка (ОАО Завод гидроаппаратуры, ООО завод «Электрофидер», ООО «Элмаш-2000») специализируется на производстве изделий общего машиностроения, электромагнитов, низковольтной аппаратуры и лёгкая промышленность представлена ООО «Швейная фабрика».

2.2 Краткая характеристика методик исследования

2.2.1 Отбор и пробоподготовка образцов почв

Отбор проб почв на исследуемых урбанизированных территориях и фоновых участках осуществлялся согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана

природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» [21], ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [22], а также ГОСТ Р 53123-2008 «Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы» [22]. Пробы отбирались из верхней части почвенного покрова с глубины 0–5 см.

2.2.2 Определение эколого-геохимических характеристик почв

Определение органического вещества в почвах осуществлялось согласно ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества» [24]. Определение концентрации нефтепродуктов в почвах производилось согласно ПНД Ф 16.1.41-04 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах гравиметрическим методом» [53].

Определение подвижных форм тяжелых металлов осуществлялось согласно «Методическим указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» [42], измерялась концентрация тяжелых металлов в растворе 1 М азотной кислоты. Для определения геохимически неблагоприятных концентраций металлов в почве проводилось сопоставление фактической концентрации металлов с их фоновыми значениями, предельно допустимой концентрацией (ПДК), производился расчет суммарного коэффициента загрязнения (Z_c), суммарного коэффициента опасности (Z_o), а также индекс загрязнения почвы (ИЗП).

2.2.3 Определение эколого-геофизических характеристик почв

Магнитная информация в почвах заключена в магнитных минералах и обусловлена их составом, размером кристаллов и распределением, которые в свою очередь зависят от процессов образования почв. Замеры магнитных параметров осуществлялись для получения сведений о составе и параметрах

образования почв. Проводились измерения удельной магнитной восприимчивости на низкой частоте (0,97 кГц) (χ_{lf}) и на высокой частоте (3,9 кГц) (χ_{hf}), частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}), термомагнитного коэффициента ($d\chi$).

Магнитная восприимчивость (χ) – физическая величина, показывающая способность материи намагничиваться под воздействием внешнего магнитного поля и определяющаяся, в первую очередь, концентрацией магнитных минералов в почве. Петромагнитный метод состоит в измерении параметра (χ) и активно используется для получения сведений о концентрации магнитных минералов в почве. Применение данного метода разрешает в короткое время и при незначительных вложениях подробно разделять и сопоставлять толщи пород [5]. При изучении почв анализ распределения магнитной восприимчивости используется при оценки антропогенного изменения почв в результате поступления в почву магнитных минералов антропогенного генезиса [10, 17, 18, 25, 30, 34, 35, 41, 50, 51, 55, 57, 105].

Определение термомагнитного коэффициента ($d\chi$) или термокаппаметрический анализ состоит в измерении увеличения магнитной восприимчивости проб в результате их нагрева на 500°C в кислородной среде ($d\chi = \chi_{lft} - \chi_{lf}$, где χ_{lf} – естественная удельная магнитная восприимчивость образца, χ_{lft} – удельная магнитная восприимчивость образца после нагрева). Увеличение происходит из-за преобразования немагнитного пирита в сильномагнитный магнетит. Похожим свойством, обладают и магнитные сульфиды железа (типа пирротина, грейгита), а также сидерит. Для однозначного толкования термокаппаметрических значений, достаточно данных о величинах исходной магнитной восприимчивости, в комплексе со значениями магнитно-минералогического анализа (магнитное насыщение, ДТМА) [76]. Изучение потенциала применения анализа концентраций пирита с помощью термокаппаметрии проводилась в ряде работ [54]. В настоящее время изучение термомагнитного коэффициента активно применяется при поиске и разведке

нефтяных и газовых месторождений, в том числе при геоэкологической оценке состояния подземных хранилищ газа [49, 74].

Значительную информацию о доменном строении магнитных минералов позволяет получить изучение частотной зависимости магнитной восприимчивости χ_{fd} , рассчитываемый по формуле:

$$\chi_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100\%,$$

где χ_{lf} – удельная магнитная восприимчивость, измеренная на низкой частоте (976 Гц), χ_{hf} – удельная магнитная восприимчивость, измеренная на высокой частоте (3904 Гц), и отражает наличие зерен магнитных минералов переходного размера от однодоменных к суперпарамагнитным. χ_{fd} откликается только на очень малый размер зерен, который обусловлен формой, составом и свойствами магнитных минералов (к примеру, для концентрических частиц магнетита диаметр кристалла равен ~ 0,29 мкм). В теории χ_{fd} может быть равен 90–100%, но рядом исследований на искусственных и природных пробах установлено, что величина χ_{fd} для чистого магнетита не составляет выше 15–16% [28, 29, 42]. Измерения осуществлялись в лаборатории петрофизики СГУ (Саратовского госуниверситета) на мультимчастотном каппабридже MFK1-FB. Для измерения термомагнитного коэффициента пробы термически обрабатывались в печи СНОЛ 6/11-В.

Применение комплексного подхода при изучении магнитных свойств почв разрешает в кратчайшие сроки получать информацию о виде и происхождении минералов, которая имеет значение при диагностике процессов почвообразования и преобразований в почвах.

Обработку эколого-геохимических и эколого-геофизических данных проводили с использованием пакета MS Excel. Построение графических приложений осуществлялась при помощи программных комплексов Surfer и MapInfo.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Распределение подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемых урбанизированных территорий

По результатам проведенных исследований на территории городов Вольска, Петровска и Хвалынска дана характеристика эколого-геохимического состояния почв по результатам определения концентрации ряда тяжелых металлов. В главе представлены результаты пространственного распределения, соотношения с нормативными показателями, а также сведения о формировании эколого-геохимических аномалий, их площади и интенсивности.

3.1.1 Подвижные формы тяжелых металлов в почвах на территории города Вольска

Никель

Концентрация никеля зафиксирована в 50 пробах от 0,98 до 16,75 мг/кг, при среднеарифметическом значении 6,81 мг/кг [37, 38, 39, 61]. Фоновая концентрация составила 5,68 мг/кг, ПДК– 4 мг/кг. По результатам исследований построены графические приложения: схема распределения подвижных форм никеля (рисунок 3.1) и схема распределения коэффициента опасности (рисунок 3.2).

Значения коэффициента концентрации на исследуемой территории изменяются от 0,17 до 2,95 единиц, вследствие этого построение отдельной схемы распределения коэффициента концентрации не имеет смысла.

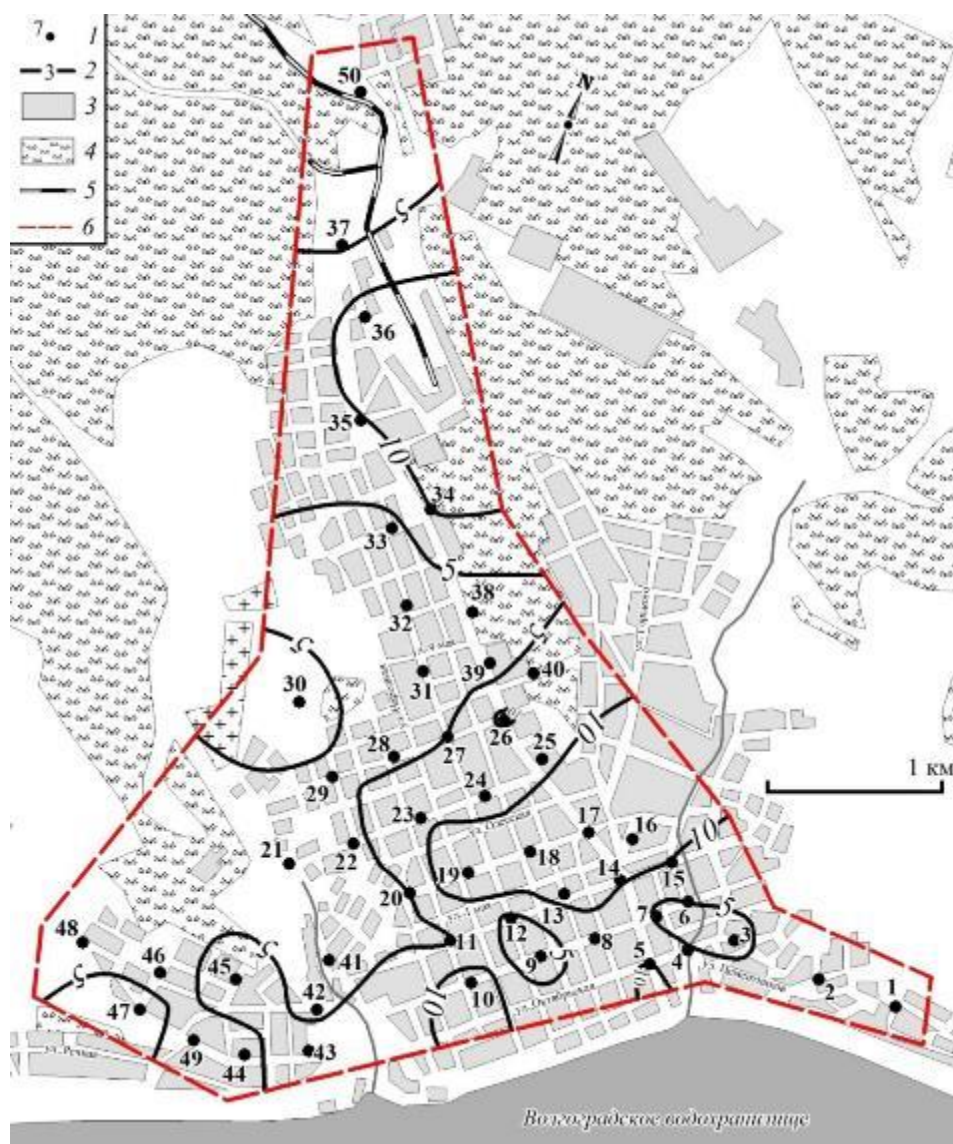


Рисунок 3.1 – Схема распределения подвижных форм никеля в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Ni), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

В почвах города Вольска по подвижным формам никеля отмечается превышение ПДК. Коэффициент опасности изменяется в пределах от 0,25 до 4,19 единиц, при среднеарифметическом значении 1,7. Схема пространственного распределения коэффициента опасности представлена на рисунке 3.2.

Из рисунка 3.2 видно, что загрязнение почвенного покрова отмечается практически повсеместно. В центральной части города сформирована аномальная зона со значениями коэффициента опасности больше 3 единиц. Аномальная зона

имеет площадной характер и задокументирована по четырем площадкам опробования (№№ 16, 17, 18 и 19). Кроме того, по площадке опробования № 10 зафиксирована точечная аномалия. Возможно, обе аномалии имеют единый источник образования, и при сохранении его негативного воздействия аномалия увеличится как по площади, так и по интенсивности, что требует особого внимания при дальнейших эколого-геохимических исследованиях.

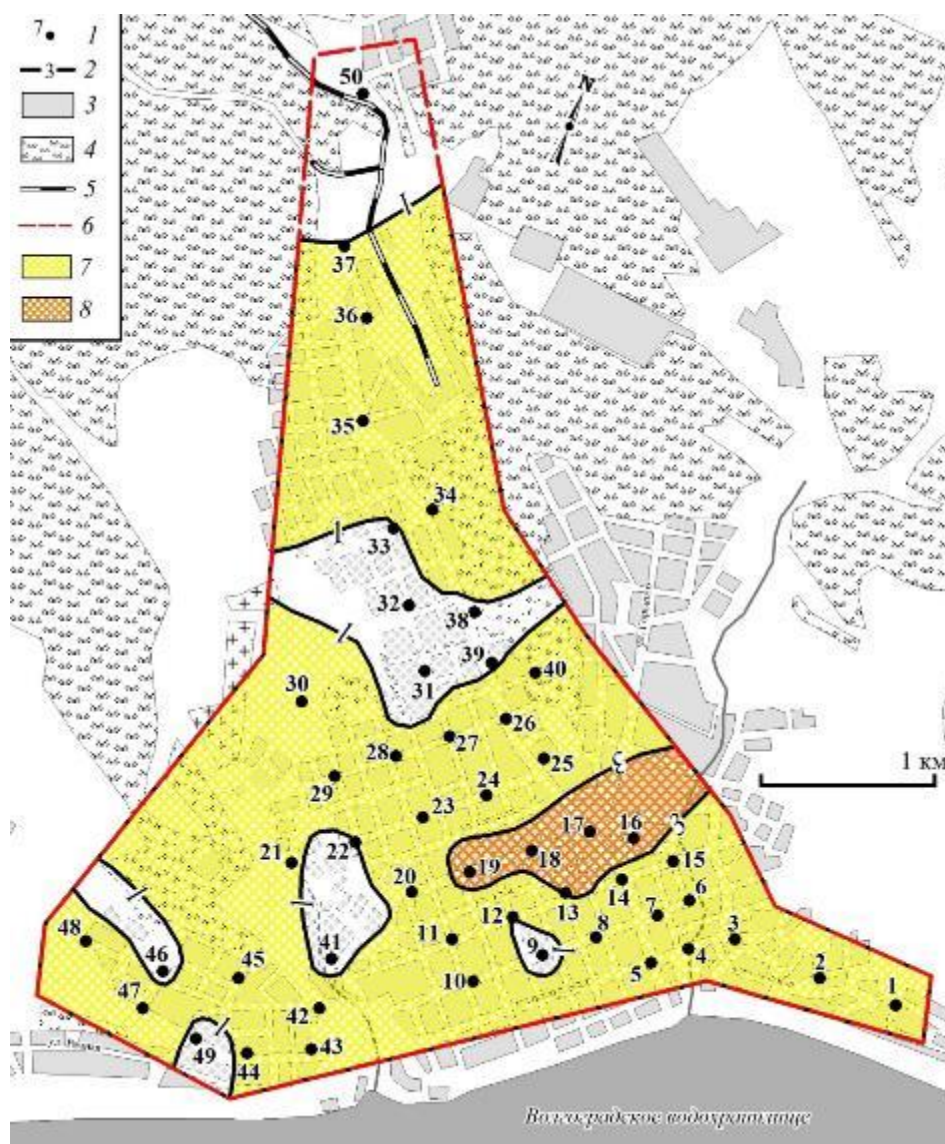


Рисунок 3.2 – Схема распределения коэффициента опасности никеля в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Медь

Концентрация меди задокументирована во всех пробах в интервале от 1,21 до 133,16 мг/кг, при среднеарифметическом значении 12,52 мг/кг. Фоновая концентрация равна 2,28 мг/кг, величина ПДК – 3 мг/кг. По результатам исследований построены графические приложения: схема распределения меди (рисунок 3.3) и схема распределения коэффициента опасности (рисунок 3.4).

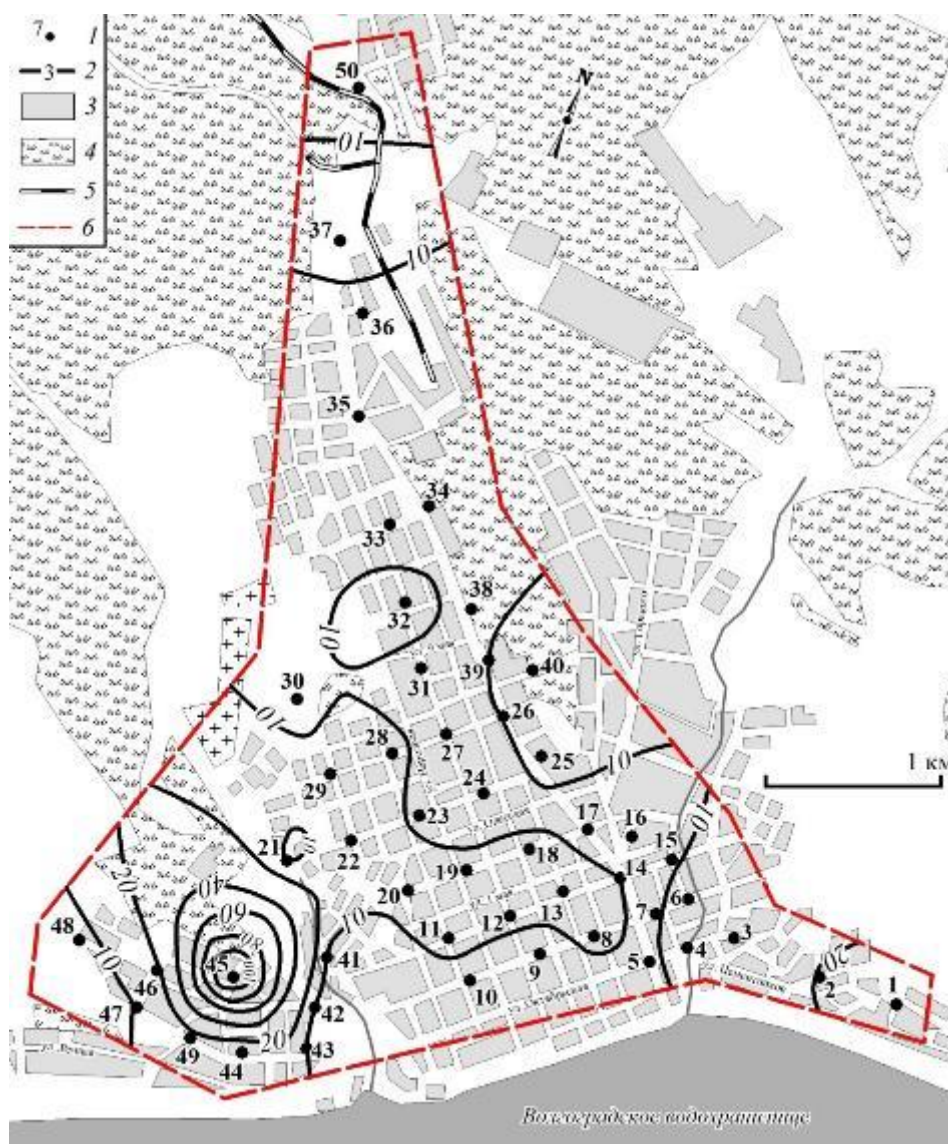


Рисунок 3.3 – Схема распределения подвижных форм меди в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cu), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона.

Концентрация подвижных форм меди практически повсеместно превышает как фоновую, так и предельно допустимую концентрацию. На территории города имелись до недавнего времени промышленные источники поступления меди – три литейных производства, расположенных в разных частях города. Западное и восточное ядра аномалий приурочены к зонам воздействия данных производств. Вероятно, поступление меди в почву в связи с бытовым загрязнением, например, применением на приусадебных хозяйствах содержащих медь средств защиты растений. Поступает медь в почвы и при коррозии деталей автомобильного транспорта.

Наиболее четкую картину эколого-геохимического состояния почв по загрязнению подвижными формами меди показывает анализ распределения коэффициента опасности. В исследуемых пробах коэффициент опасности изменяется в широком пределе от 0,40 до 44,39 единиц при среднем значении 4,17. Площадное распределение коэффициента опасности показано на рисунке 3.4.

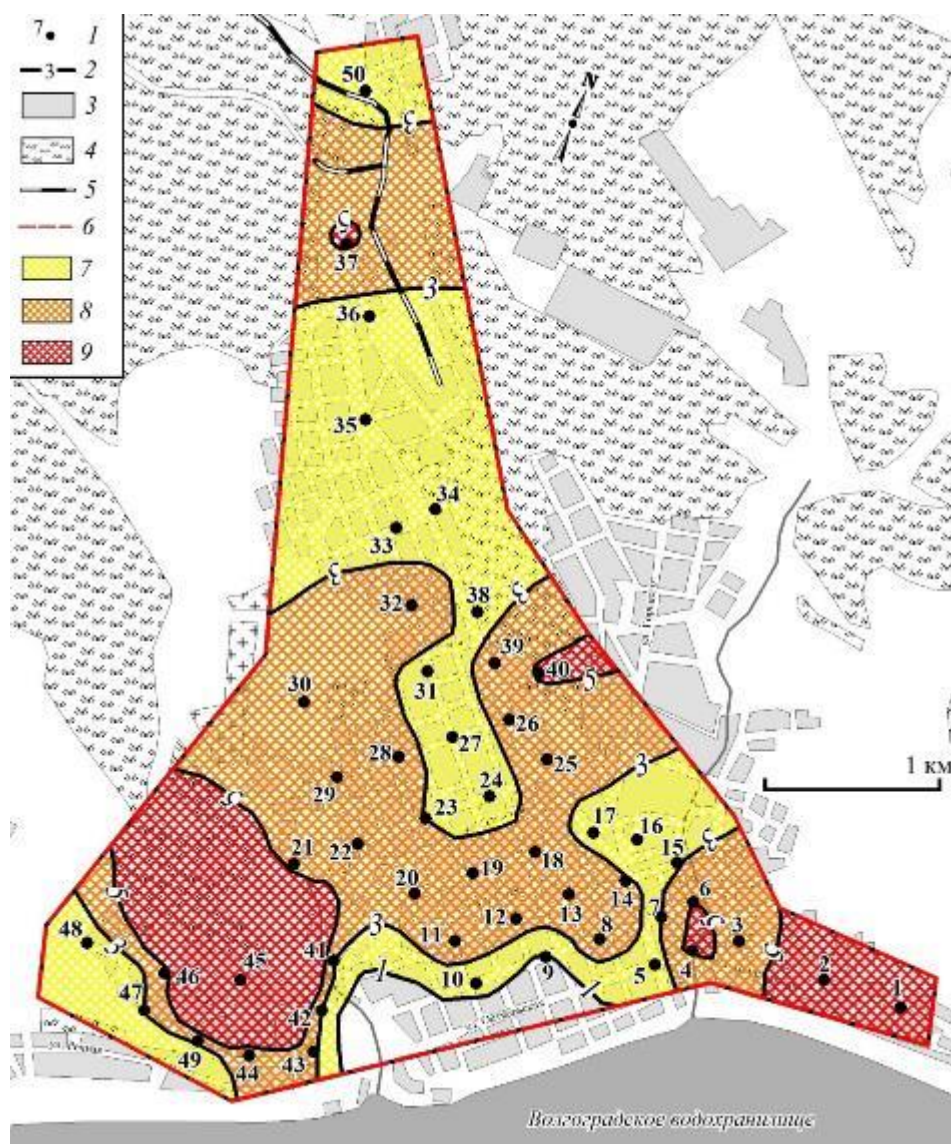


Рисунок 3.4 – Коэффициент опасности меди в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Пространственная структура коэффициента опасности наглядно показывает, что почвы повсеместно загрязнены подвижными формами меди. В центральной части Вольска формируется крупная площадная аномалия, которая пересекает весь город. Аномалия имеет сложную структуру, внутри которой выделяется несколько ядер со значениями коэффициента опасности выше 5 единиц, то есть с пятикратным превышением ПДК (площадки опробования №№ 1, 2, 4, 40, 45 и 46).

В северо-западной части города отмечается точечная аномалия по площадке опробования № 37. Наибольшее значение (44,39 ед.) коэффициент опасности достигает на площадке опробования № 45 и имеет единичный случай, поэтому может расцениваться как результат случайного «импактного» загрязнения. Несмотря на это, загрязнение почв подвижными формами меди носит площадной характер с высокой степенью интенсивности, и требует особого внимания.

Кадмий

Концентрация кадмия зафиксирована в пробах в интервале от 0,02 до 0,38 мг/кг, при среднеарифметическом значении 0,19 мг/кг. Фоновая концентрация определена как 0,15 мг/кг, ПДК – 0,5 мг/кг. По результатам исследований построена схема площадного распределения подвижных форм кадмия (рисунок 3.5).

Содержание подвижных форм кадмия в почвах города Вольска не превышает предельно допустимой концентрации, в связи с этим необходимость построения схемы распределения коэффициента опасности отсутствует. Соответственно эколого-геохимическое состояние почв по содержанию подвижных форм кадмия находится на допустимом уровне.

Хром

Концентрация хрома установлена в интервале от 0,05 до 0,59 мг/кг, при среднеарифметическом значении 0,17 мг/кг. Концентрация на фоновом участке по результатам анализа 10 фоновых проб составила 0,08 мг/кг, ПДК– 6 мг/кг. По результатам исследований построена схема территориального распределения подвижных форм хрома (рисунок 3.6).

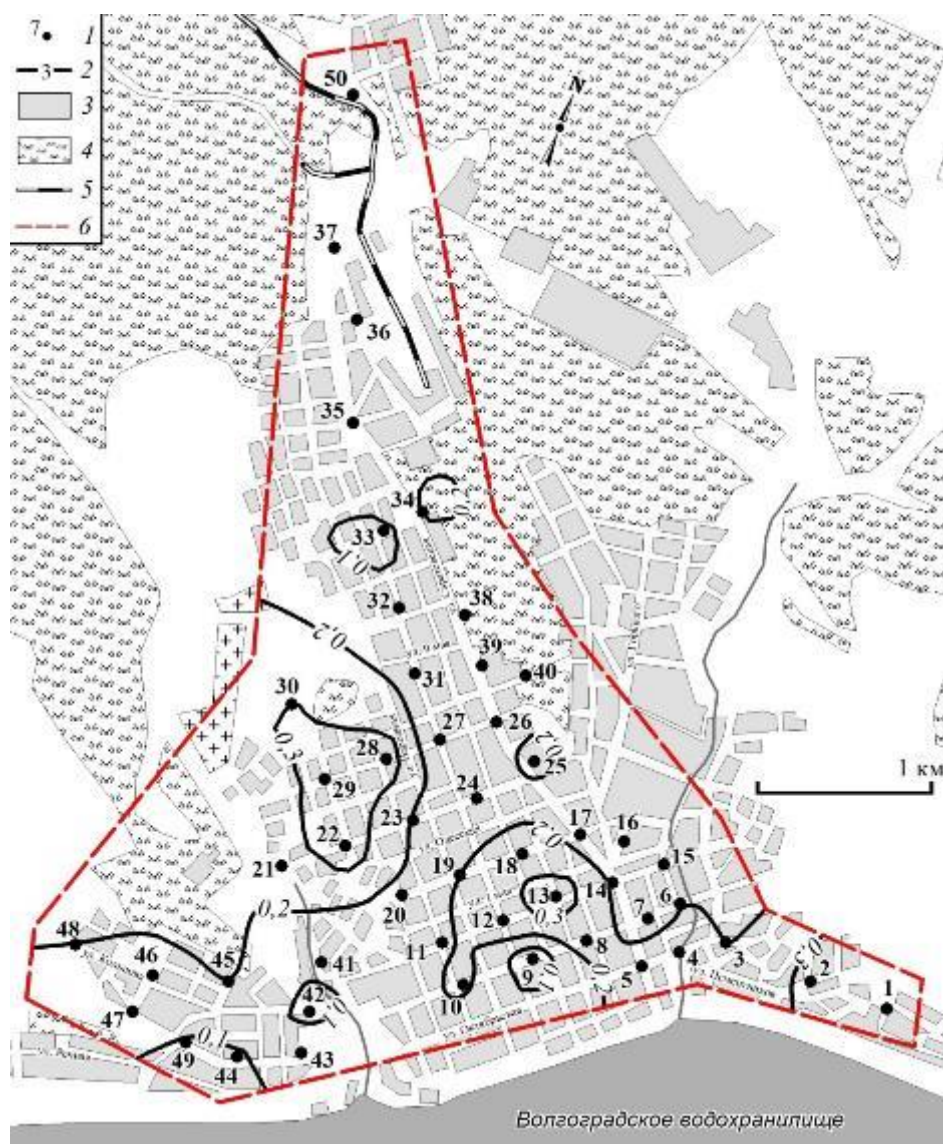


Рисунок 3.5 – Схема распределения подвижных форм кадмия в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cd), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Концентрация подвижных форм хрома не превышает ПДК, в связи с этим отсутствует необходимость построения схемы распределения коэффициента опасности. Эколого-геохимическое состояние почв на территории Вольска по содержанию подвижных форм хрома находится на допустимом уровне.

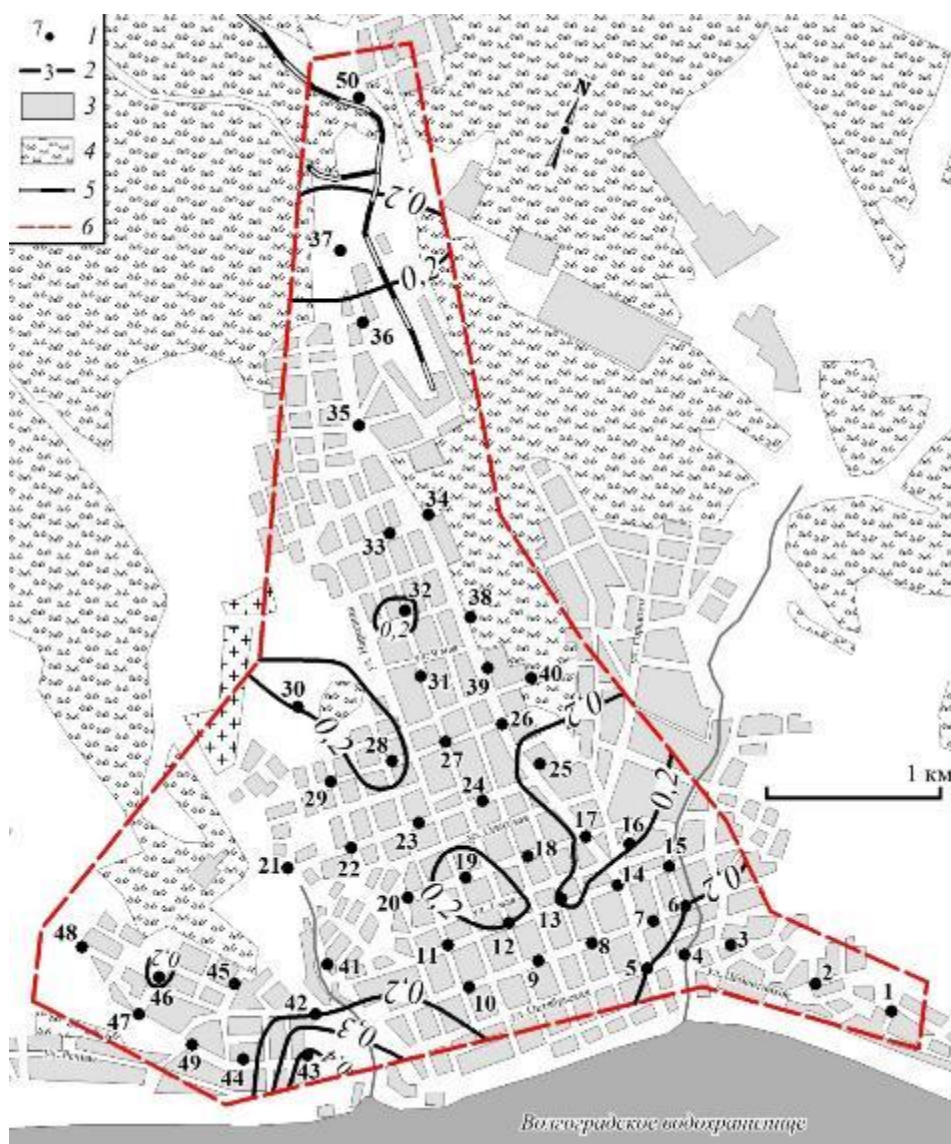


Рисунок 3.6 – Схема распределения подвижных форм хрома в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cr), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Свинец

Концентрация свинца установлена в интервале от 2,87 до 182,79 мг/кг, при среднеарифметическом значении 27,7 мг/кг. Концентрация на фоновом участке определена как 0,42 мг/кг, ПДК составляет 6 мг/кг. Построены графические приложения.

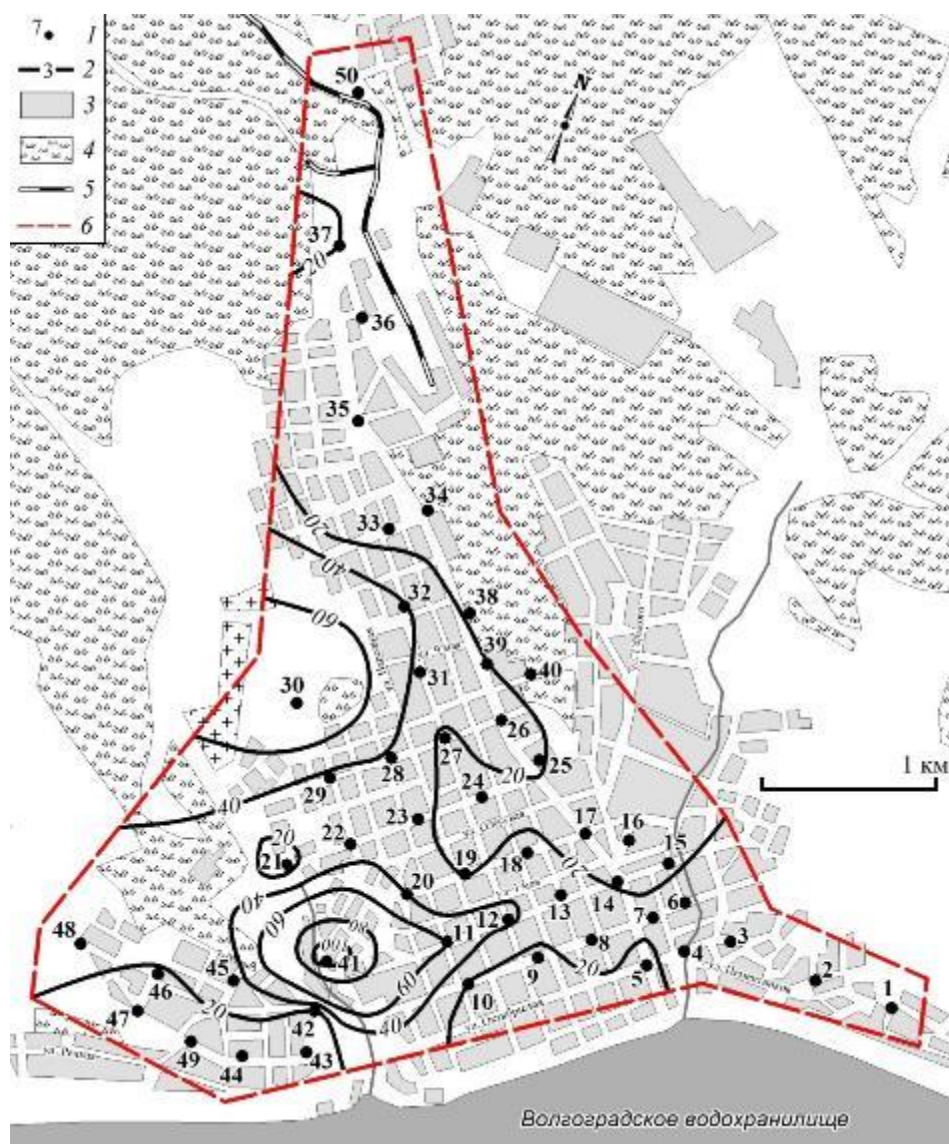


Рисунок 3.7 – Распределение подвижных форм свинца в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Pb), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Свинец – один из наиболее характерных загрязнителей почв городских территорий, так как одним из основных источников его поступления являются выхлопные выбросы автомобильного транспорта, использующего топливо, содержащее свинцовые присадки. На территории города Вольска наблюдается значительное превышение содержания подвижных форм соединений свинца по отношению к фоновым концентрациям.

Коэффициент концентрации изменяется в крайне широком пределе от 6,83 до 434,79 единиц при среднем значении 66,06 единиц, что указывает на активное поступление соединений свинца в почвы. Особенность соединений свинца – их способность образовывать в почвах труднорастворимые соединения и задерживаться на длительное время в почвенном покрове. Вследствие этого, концентрация подвижных форм соединений свинца в пределах города Вольска является особо актуальным параметром при эколого-геохимических исследованиях.

Наиболее наглядную картину эколого-геохимического и санитарно-эпидемиологического состояния почв дает анализ распределения коэффициента опасности (рисунок 3.8). Коэффициент опасности изменяется в интервале от 0,48 до 30,47, при среднем значении 4,63 единиц.

Из схемы видно, что вся исследуемая территория города Вольска тотально загрязнена подвижными формами свинца. В пределах города формируется единая площадная аномалия со сложной структурой. Ядро аномалии со значениями коэффициента опасности свыше 5 единиц проходит через центральную часть города. По интенсивности проявления превышены существующие ПДК на каждой площадке опробования. Полученные данные указывают на необходимость пристального внимания со стороны природоохранных служб к динамике данной аномальной зоны и потенциальных мероприятий по ее ликвидации.

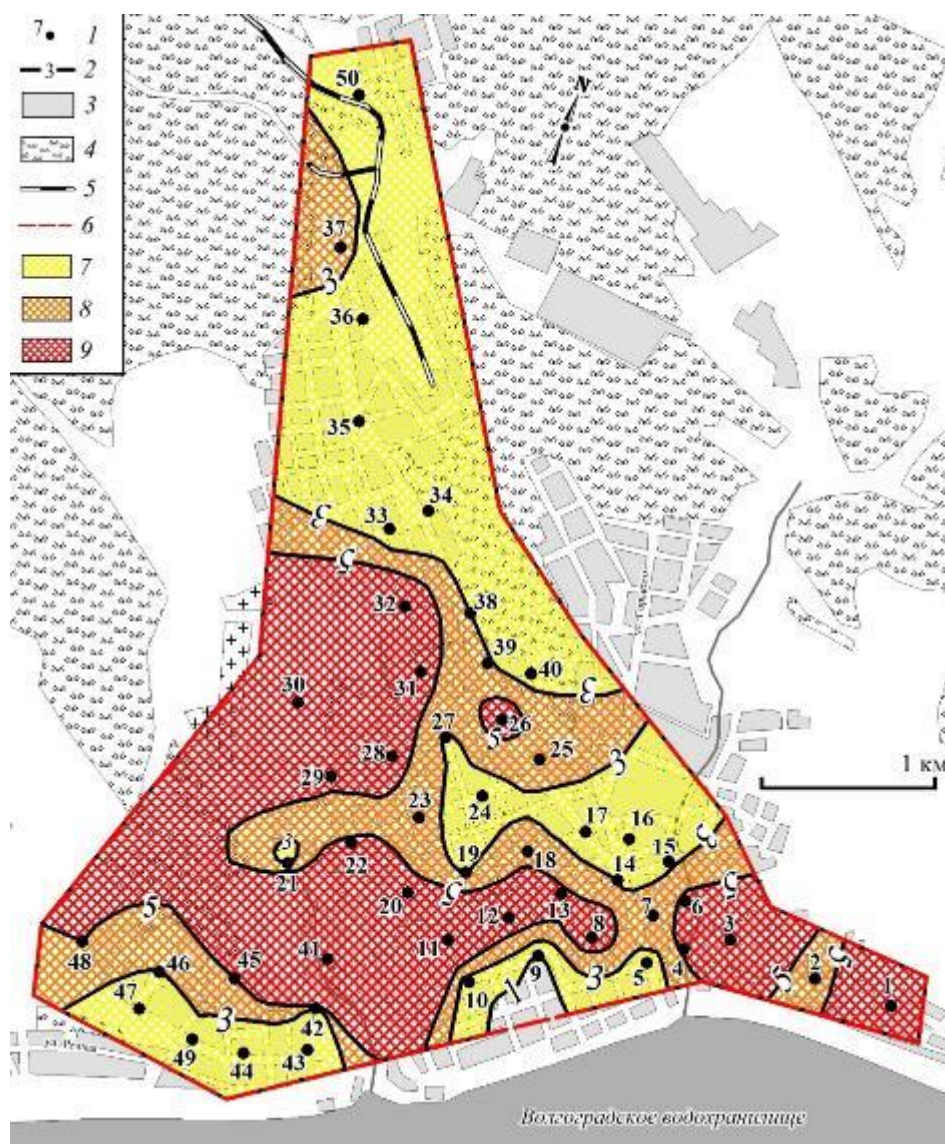


Рисунок 3.8 – Схема распределения коэффициента опасности свинца в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Цинк

Концентрация цинка зафиксирована в пробах в пределах от 10,36 до 160,57 мг/кг, при среднеарифметическом значении 51,9 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 5,84 мг/кг, ПДК – 23 мг/кг. По результатам исследований построены графические приложения (рисунки 3.9, 3.10).

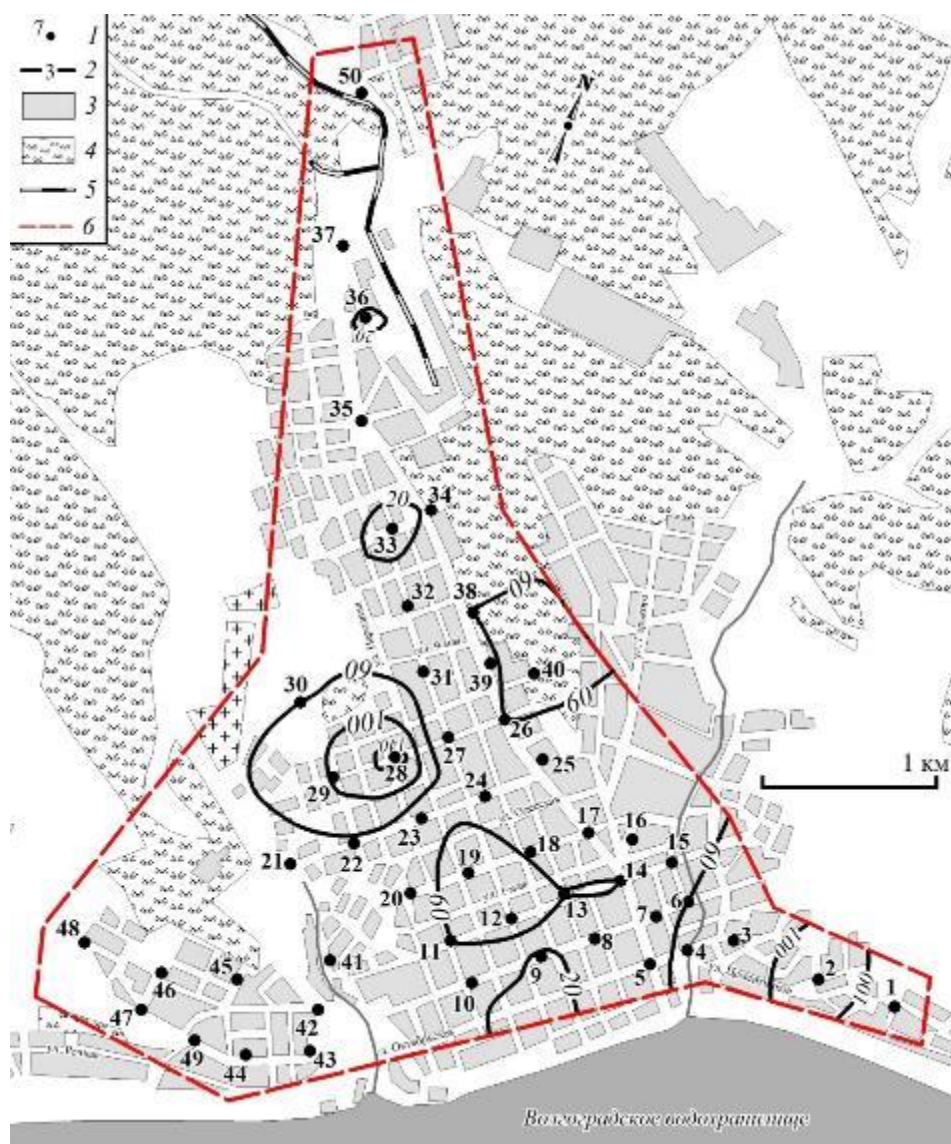


Рисунок 3.9 – Распределение цинка в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Zn), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Содержание подвижных форм цинка на фоновых территориях заметно ниже, чем среднее содержание в пределах города, вследствие чего коэффициент концентрации изменяется в достаточно широком интервале от 1,78 до 27,51 единиц при среднем значении 8,91. Таким образом, в почвенном покрове отмечается процесс аккумуляции соединений цинка. Основными источниками поступления цинка в сложившихся на территории города условиях могут являться бытовое загрязнение и коррозия оцинкованных частей автомобильного

транспорта. В восточной части города источником поступления может служить литейное металлургическое производство.

Коэффициент опасности изменяется в диапазоне от 0,45 до 6,98 при среднем значении 2,26 единиц. Площадное распределение коэффициента опасности представлено на рисунке 3.10.

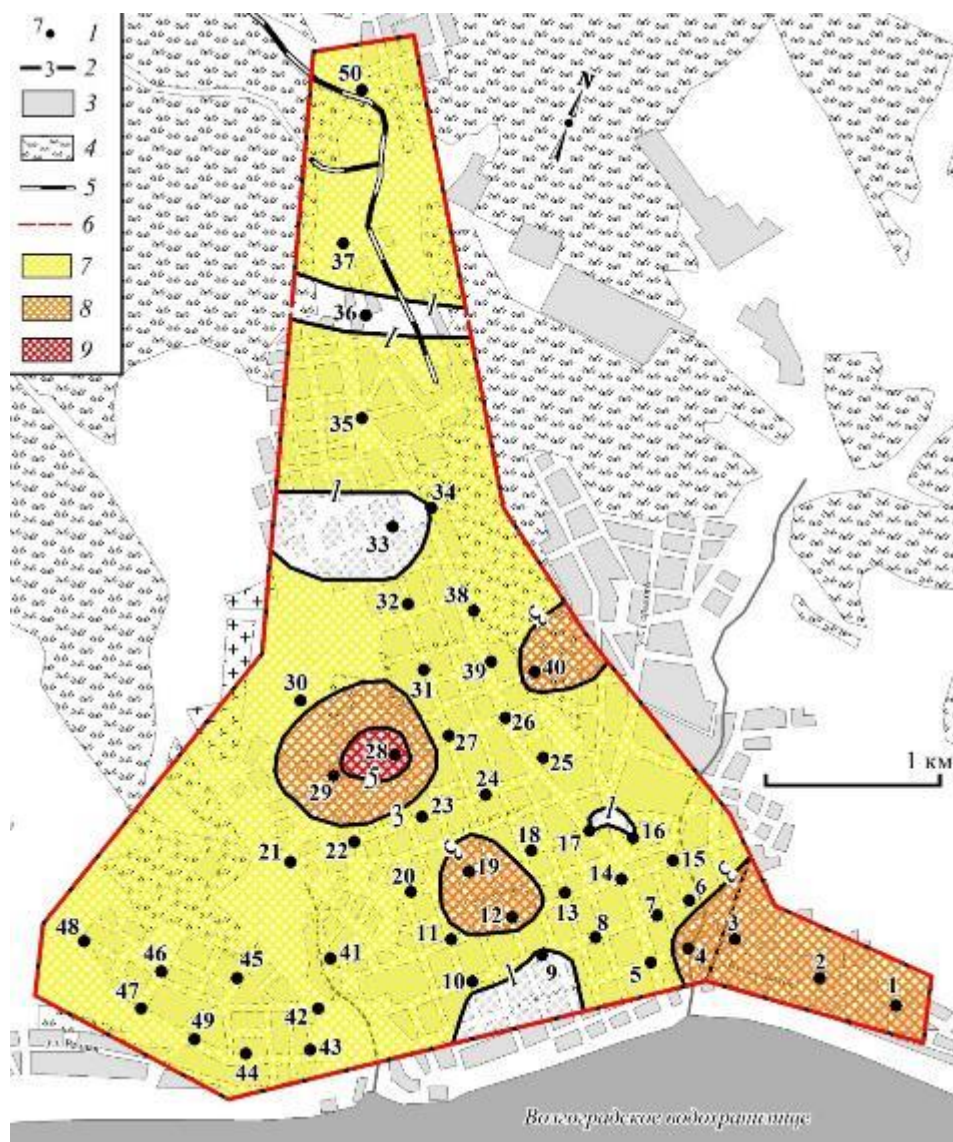


Рисунок 3.10 – Схема распределения коэффициента опасности цинка в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Из схемы следует, что практически вся исследуемая территория Вольска загрязнена подвижными формами соединений цинка. В центральной части города выделяется несколько ядер внутри единой аномальной зоны. Отчетливо выделяются четыре ядра, три из которых площадные, а одно точечное. Самое интенсивное ядро выделяется по площадкам опробования №№ 28 и 29, в районе расположения бывших коммунально-складских помещений. На этом участке развернуты демонтажные работы и частичным сжиганием отходов, что способствует аэрогенному распространению загрязнителей. Выделяются ядра по площадкам опробования №№ 1, 2, 3 и 4, №№ 12 и 19 и точечное ядро по площадке опробования № 40. Внутри выделенных ядер аномалии значения коэффициента опасности превышают значения в 3 единицы, наибольшее значение в 6,98 единиц отмечается в точке опробования № 28. В восточной части города загрязнение может быть связано с литейным металлургическим производством.

Полученные результаты свидетельствуют о негативной эколого-геохимической обстановке в почвах города по содержанию цинка. Выявленные зоны аномальных значений при условии сохранения источников и объемов поступления соединений цинка в дальнейшем могут увеличиваться как по площади, так и интенсивности, что требует внимания природоохранных служб города и региона.

Полученные аналитические данные статистически обработаны и проанализированы. Результаты статистической обработки представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Некоторые статистические показатели распределения тяжелых металлов в почвах города Вольска

	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Асимметрия	0,81	6,42	0,68	2,33	3,76	1,33
Эксцесс	-0,48	43,77	-0,07	9,76	18,42	2,36
Ст. откл. (S)	4,03	17,96	0,09	0,09	28,38	30,11
Мин. знач.	0,98	1,21	0,02	0,05	2,87	10,36
Ср. знач.	6,81	12,52	0,19	0,17	27,77	51,99
Макс. знач.	16,75	133,16	0,38	0,59	182,79	160,57

По результатам аналитической обработки данных лабораторных исследований концентрации подвижных форм тяжелых металлов почвах на территории города Вольска установлены следующие геохимические ряды элементов:

- по концентрации: Zn>Pb>Cu>Ni>Cd>Cr;
- по отношению к ПДК: Pb>Cu>Zn>Ni>Cd>Cr.

Основными загрязнителями почвенного покрова города Вольска являются подвижные формы соединений свинца, меди, цинка и никеля. Подвижные формы кадмия и хрома не превышают ПДК и при дальнейших эколого-геохимических исследованиях им можно уделять меньшее внимание. Основными источниками поступления тяжелых металлов, исходя из пространственной структуры загрязнения, служат литейные производства и некачественно выполняемые мероприятия по ликвидации промышленно-складских объектов без должных мер обеспечения экологической безопасности.

С целью установления возможных взаимосвязей между исследуемыми компонентами проведен корреляционный анализ. Результаты определения коэффициента концентрации представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Коэффициенты корреляции между тяжелыми металлами в почвах города Вольска

	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Ni	1					
Cu	0,01	1				
Cd	0,24	0,19	1			
Cr	0,22	0,07	0,40	1		
Pb	-0,21	0,07	0,23	0,08	1	
Zn	-0,02	0,19	0,64	0,41	0,26	1

Примечание: n = 50, p = 0,01, r = 0,36. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты

Результаты корреляционного анализа выявили значимые корреляционные взаимосвязи между парами элементов Cd–Cr, Cr–Zn и Cd–Zn. Значимые коэффициенты корреляции между этими элементами, вероятно, указывают на их единый источник происхождения. В случае пары Cd–Cr это представляется

вполне логичным, учитывая, что концентрации данных элементов достаточно низки и не превышают ПДК, то можно предположить, что высокие корреляционные взаимосвязи между ними обусловлены единым минералогическим происхождением. В то же время высокие корреляционные взаимосвязи хрома и кадмия с цинком, основным загрязнителем почв, может указывать на единый источник поступления этих элементов, где цинк является основным элементом, а хром и кадмий элементами-примесями. Этот вопрос требует отдельного исследования, не входящего в рамки данного диссертационного исследования.

В результате проведенных исследований получены новые данные об эколого-геохимическом и санитарно-эпидемиологическом состоянии почв города Вольска. Далее приводятся результаты аналогичных исследований на территории города Петровска.

3.1.2 Подвижные формы тяжелых металлов в почвах на территории города Петровска

Никель

Концентрация никеля зафиксирована в пробах в промежутке от 0,88 до 7,96 мг/кг, при среднеарифметическом значении 3,79 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 12,3 мг/кг, ПДК – 4 мг/кг. По результатам исследований построены графические приложения: схема распределения подвижных форм никеля (рисунок 3.11) и схема распределения коэффициента опасности (рисунок 3.12).

На территории Петровска отмечается снижение концентрации подвижных форм никеля по сравнению с фоновыми показателями (отрицательная геохимическая аномалия). Значение коэффициента концентрации изменяется от 0,07 до 0,64 единиц при среднем значении 0,31 единиц, поэтому построение отдельной схемы распределения коэффициента концентрации не имеет геоэкологической нагрузки и не выполнялось.

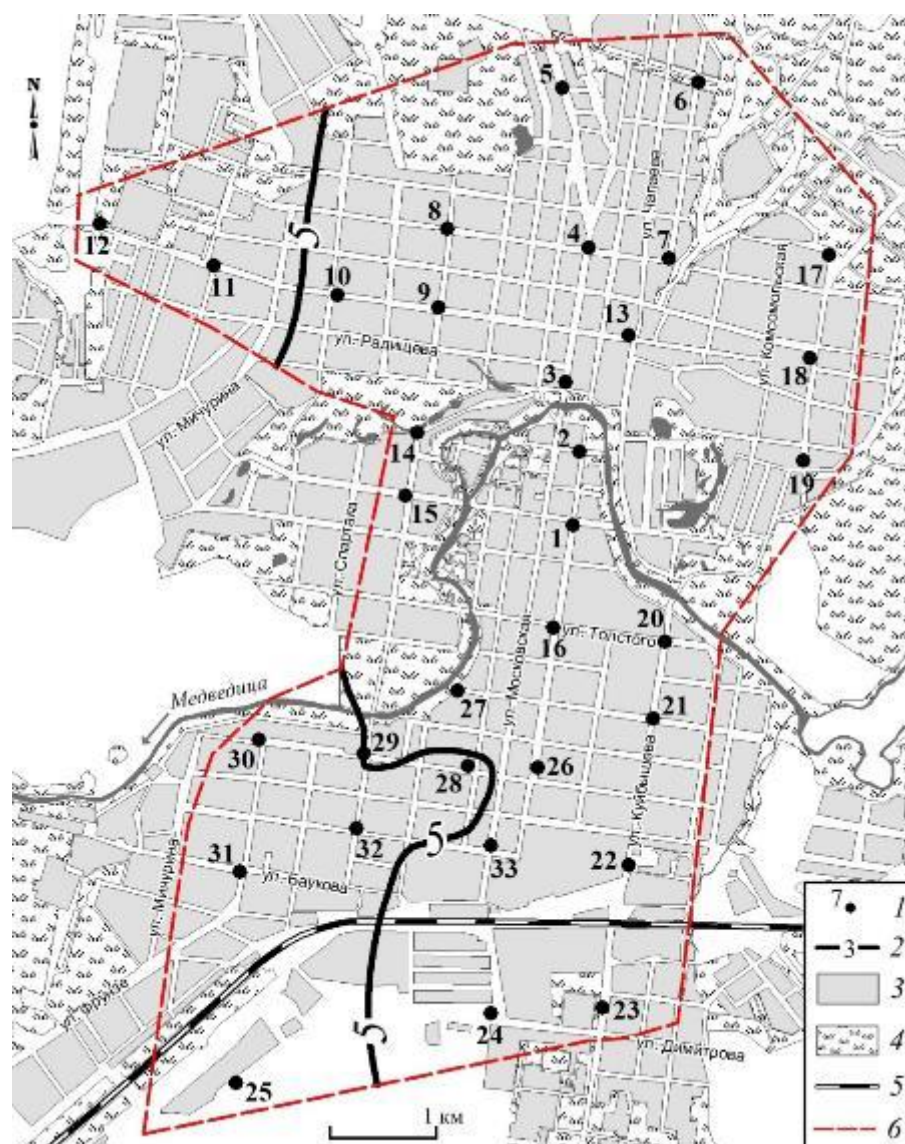


Рисунок 3.11 – Схема распределения подвижных форм никеля в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Ni), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

В городских почвах отмечается превышение ПДК. Коэффициент опасности колеблется в промежутке от 0,22 до 1,99 при среднеарифметическом значении 0,9 единиц. Схема распределения коэффициента опасности указана на рисунке 3.12.

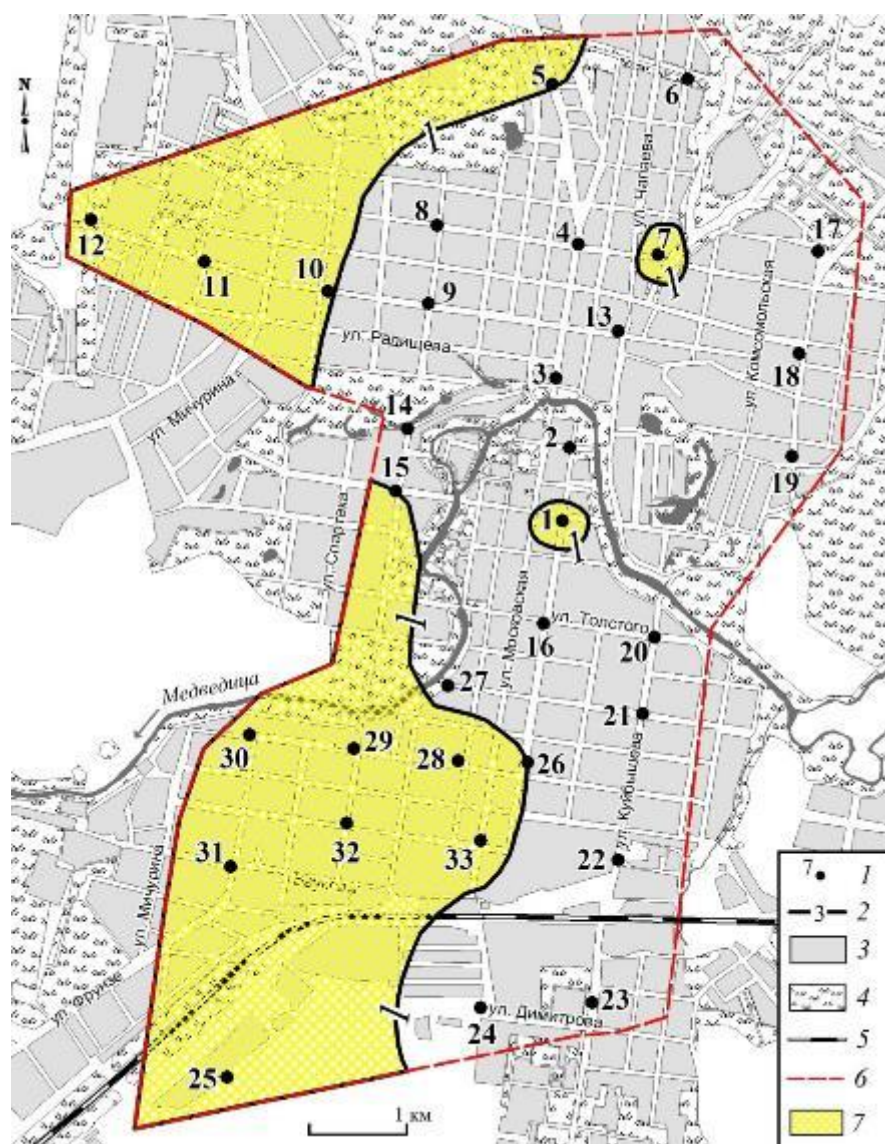


Рисунок 3.12 – Распределение коэффициента опасности никеля в почвах города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Загрязнение почвенного покрова подвижными формами никеля на территории города Петровска отмечается в западной части города, где зафиксирована обширная аномальная зона со значениями коэффициента опасности больше 1. Площадная аномалия задокументирована по 11 площадкам опробования (№№ 5, 10–12, 15, 25, 28–33). Отмечаются также точечные аномалии (площадки №№ 1 и 7), в которых фиксируется превышение ПДК.

Особый интерес при исследовании подвижных форм никеля в пределах города Петровска вызывает большая разница между фоновыми и городскими концентрациями. Возможно, это связано с тем, что в качестве фонового участка выбрана территория с преимущественно сельскохозяйственным использованием земель. Повышенное содержание соединений никеля на таких территориях может быть связано с активным внесением удобрений. Такое положение дел является подтверждением того, что использование фоновых концентрации при исследовании урбанизированных территории не всегда является оправданным и следует ориентироваться на нормативные показатели ПДК и ОДК.

Медь

Подвижные формы меди зафиксированы во всех в интервале от 2,2 до 31,3 мг/кг, при среднеарифметическом значении 8,3 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 5,1 мг/кг, ПДК – 3 мг/кг. По результатам исследований составлены схема распределения подвижных форм меди (рисунок 3.13) и схема распределения коэффициента опасности (рисунок 3.14).

Коэффициент концентрации изменяется в пределах 0,43 – 6,12 единиц, при среднем значении 1,65, что указывает на относительно незначительный принос соединений меди в почву исследуемой территории. Площадное распределение коэффициента концентрации по причине малой информативности данном случае не рассматриваем. Более показательно в эколого-геохимическом отношении пространственное распределение значений коэффициента опасности.

Коэффициент опасности изменяется в промежутке от 0,7 до 10,4 единиц, при среднеарифметическом значении 2,8. Площадное распределение коэффициента опасности изображено на рисунке 3.14.

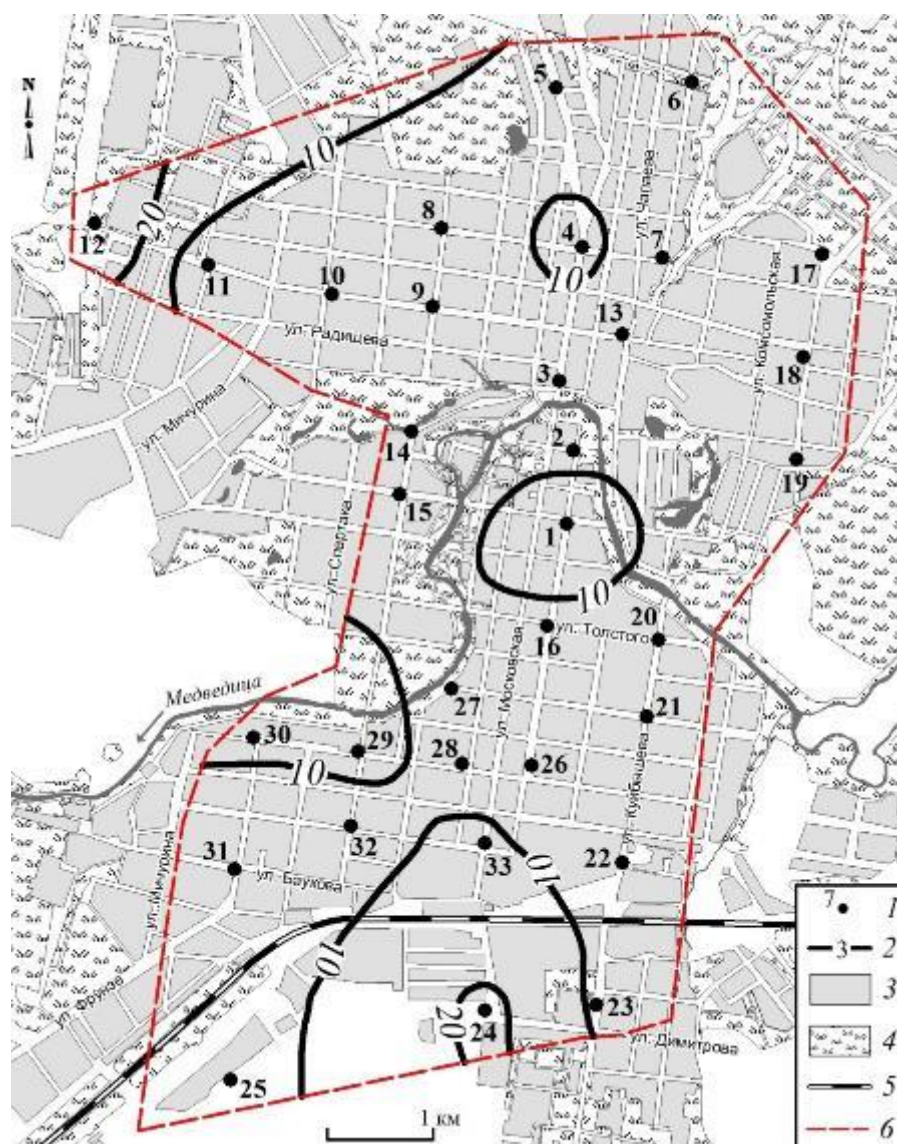


Рисунок 3.13 – Распределение подвижных форм меди в почвах города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cu), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона.

Почвенный покров на территории города повсеместно загрязнен подвижными формами меди. Вся исследуемая территория представляет собой единую аномальную зону, в которой сформированы два крупных ядра со значениями коэффициента опасности выше 3 единиц. Первое ядро формируется в южной и западной частях города и задокументировано по шести площадкам опробования (№№ 1, 23, 24, 29, 30) с максимальным значением 7,55 единиц на площадке опробования № 24. Второе ядро сформировалось в северо-западной

части города и зафиксировано по двум точкам опробования №№ 5 и 12, с максимальным значением коэффициента опасности 10,46 единиц на площадке опробования № 12.

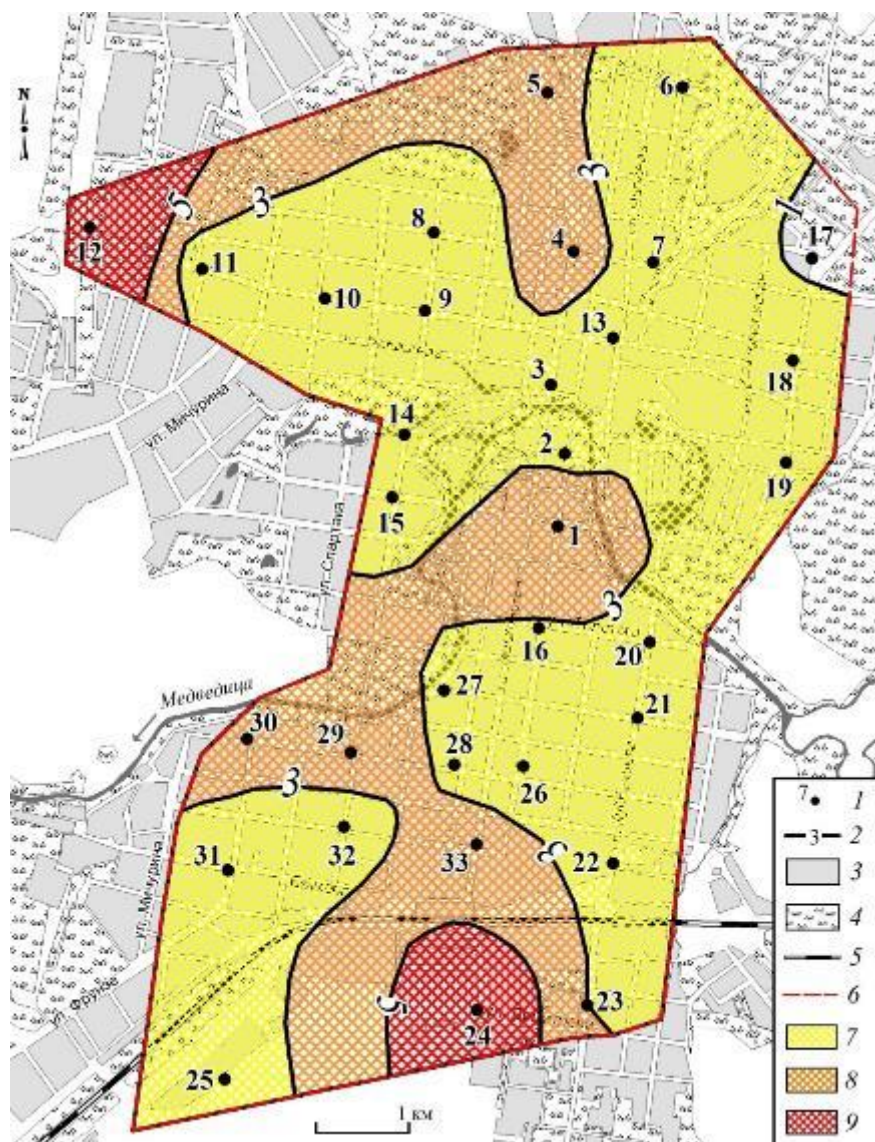


Рисунок 3.14 – Схема распределения коэффициента опасности меди в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Полученные результаты указывают на то, что медь - один из основных загрязнителей почв и указывают на необходимость постоянного мониторинга за ее содержанием в пределах города Петровска.

Кадмий

Концентрация кадмия задокументирована в интервале от 0,03 до 0,37 мг/кг, при среднеарифметическом значении 0,10 мг/кг. Концентрация на фоновом участке составила 0,09 мг/кг, норматив ПДК – 0,5 мг/кг. Построена схема распределения концентрации кадмия (рисунок 3.15).

Коэффициент концентрации колеблется в промежутке 0,3–4,2 единиц, при среднеарифметическом значении 1,1. Площадное распределение коэффициента концентрации подвижных форм кадмия в связи с точечным характером аномалий не рассматривается.

В качестве основного показателя эколого-геохимического состояния почвенного покрова рассматривается коэффициент опасности подвижных форм кадмия в почве. Его величина изменяется в интервале от 0,07 до 0,7, при среднем значении 0,2 единиц. Превышений ПДК не выявлено. Состояние почвенного покрова на территории города Петровска содержанию подвижных форм соединений кадмия оценивается как удовлетворительное.

На территории города максимальное значение концентрации подвижных форм кадмия зафиксировано на площадке опробования № 30 (0,37 мг/кг), что ниже нормативных значений. Возможно, при условии наличия постоянного источника поступления кадмия, на территории имеется возможность образования зон загрязнения, но на настоящий момент загрязнения почв не установлено.

Хром

Хром обнаружен во всех пробах в интервале от 0,01 до 0,06 мг/кг, при среднеарифметическом значении 0,02 мг/кг. Концентрация на фоновом участке 0,12 мг/кг, норматив ПДК – 6 мг/кг. По результатам проведенных исследований составлена схема распределения подвижных форм хрома (рисунок 3.16).

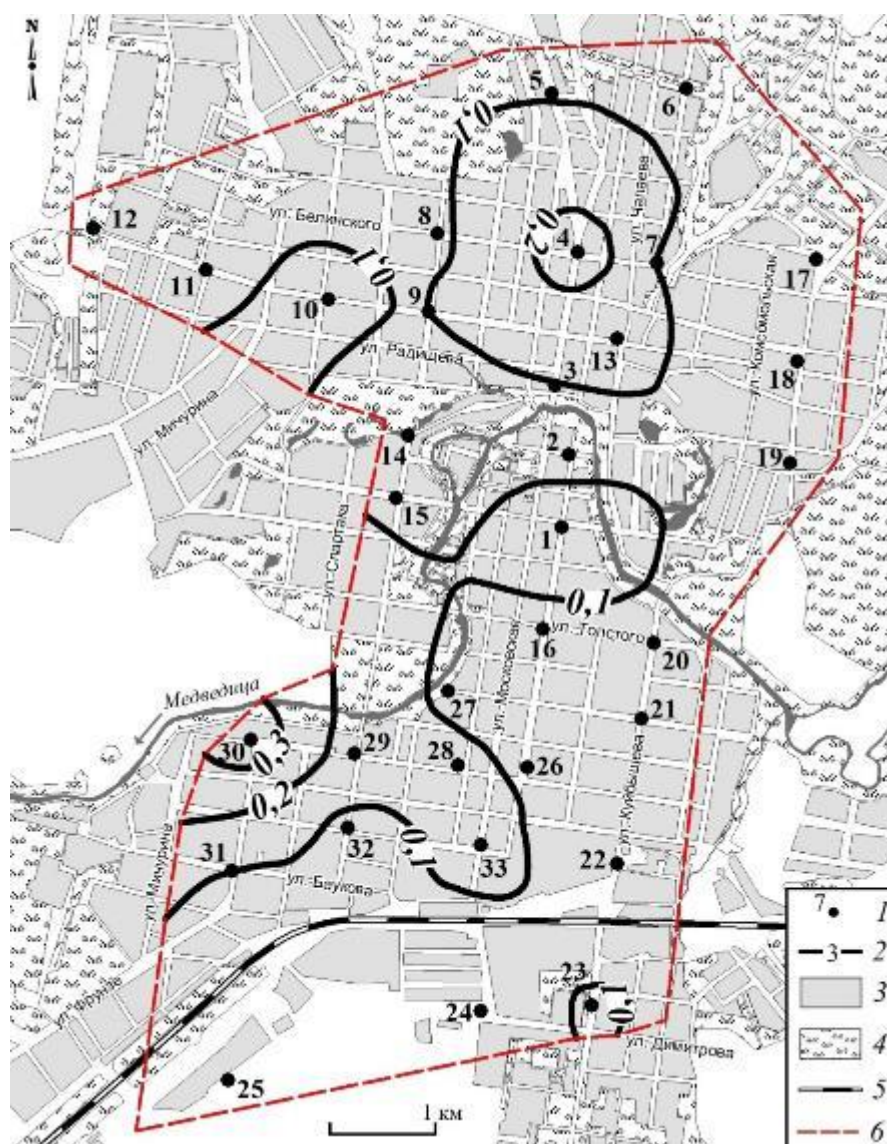


Рисунок 3.15 – Схема распределения подвижных форм кадмия в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cd), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Фоновая концентрация оказалась значительно выше концентраций, установленных в пределах города Петровска. Значения коэффициента концентрации не превысили 1 единицы и колебались в интервале от 0,01 до 0,5 при среднеарифметическом значении 0,19. В данном случае можно говорить об отрицательной техногенной геохимической аномалии.

Коэффициент опасности изменялся в диапазоне до 0,01 единиц, что фиксирует отсутствие загрязнения почв соединениями подвижных форм хрома.

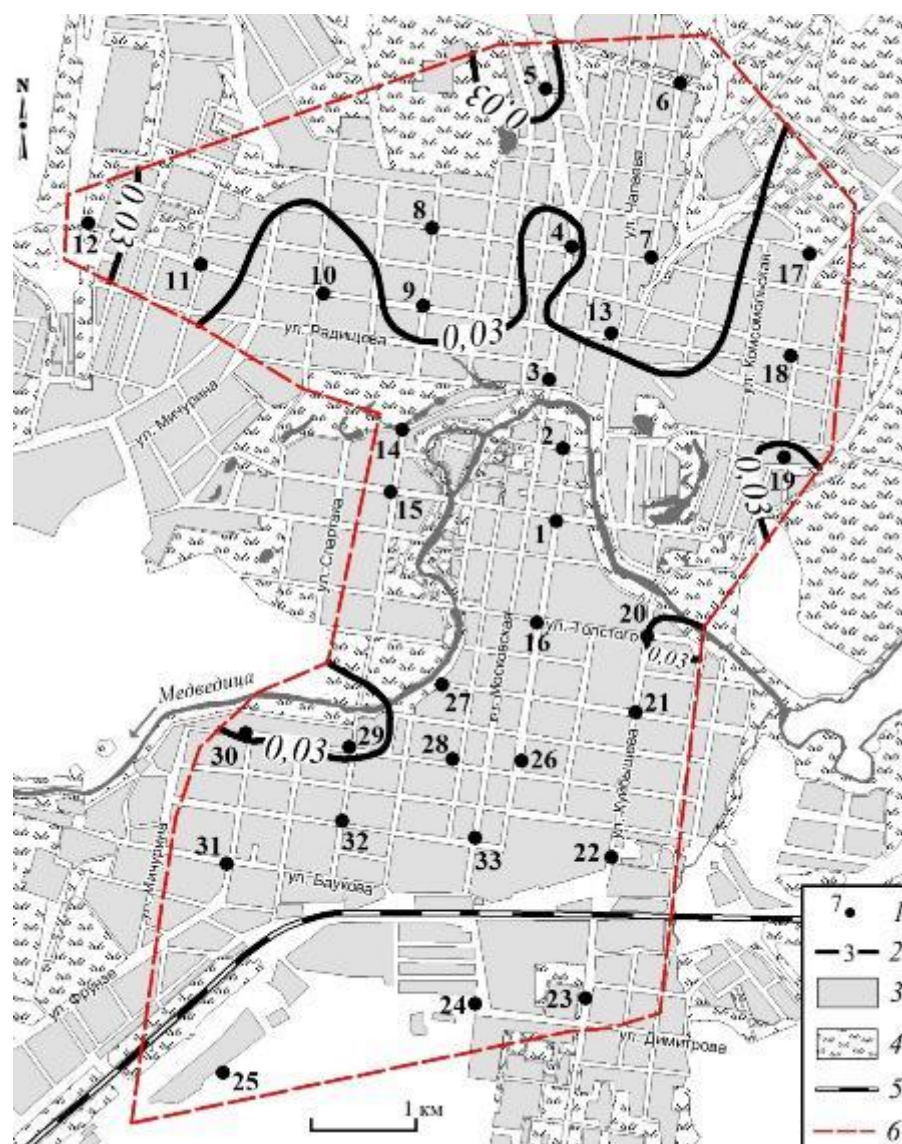


Рисунок 3.16 – Схема распределения подвижных форм хрома в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cr), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Свинец

Подвижные формы свинца определены во всех 33 пробах в концентрации от 0,2 до 6,4 мг/кг, при среднеарифметическом значении 1,67 мг/кг. Концентрация на фоновом участке составила 3,85 мг/кг. Норматив ПДК – 6 мг/кг. В результате составлена схема распределения подвижных форм свинца (рисунок 3.17).

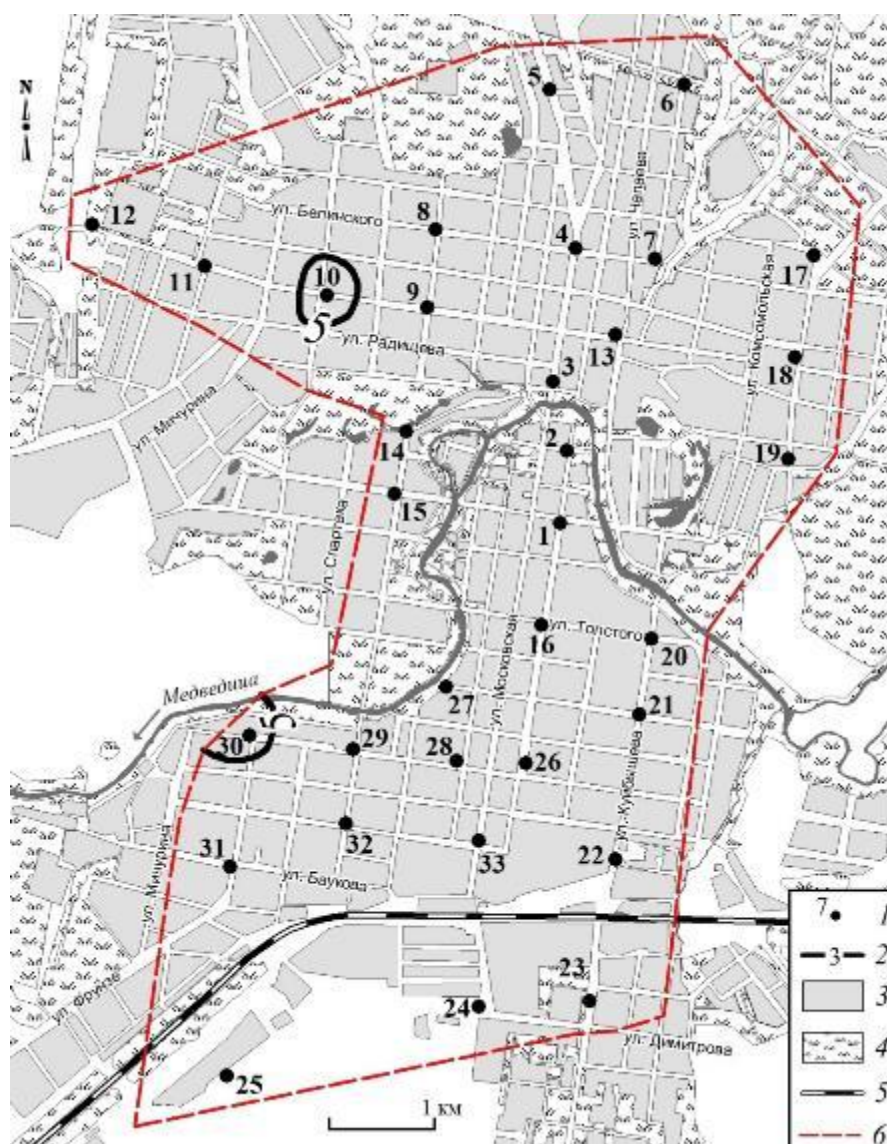


Рисунок 3.17 – Схема распределения подвижных форм свинца в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Pb), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Величина коэффициента концентрации варьирует в диапазоне от 0,06 до 1,68 при среднем значении 0,43 единиц, что свидетельствует о незначительном техногенном поступлении соединений свинца в почвы населенного пункта.

Значения коэффициента опасности изменяются в интервале 0,04 – 1,08 при среднем значении 0,28. Таким образом, на территории Петровска в почвенном покрове отмечается единичное превышение ПДК по площадке опробования № 10.

В связи с этим не выполнялось построение графических материалов, отражающих площадное распределение коэффициентов концентрации и опасности.

Установлено, что в пределах города Петровска в почвенном покрове отсутствует загрязнение подвижными формами свинца, что весьма нехарактерно для почв урбанизированных территорий и, на наш взгляд, требует дополнительного изучения.

Цинк

Концентрация цинка зафиксирована во всех пробах. Установлены концентрации в интервале от 13,7 до 150,5 мг/кг, при среднеарифметическом значении 54,1 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 10,5 мг/кг, нормативное значение ПДК – 23 мг/кг. Построены схема распределения подвижных форм цинка (рисунок 3.18) и схема распределения коэффициента опасности (рисунок 3.19).

Коэффициент концентрации на всей территории населенного пункта превышает единицу и изменяется в интервале от 1,3–14,2 при среднем значении 5,1 единиц. Подобные величины свидетельствуют об интенсивном поступлении в почвы и аккумуляции соединений цинка на территории города Петровска.

Значения коэффициента концентрации изменяются в диапазоне от 0,6 до 6,54 единиц при среднем значении 2,35. В почвенном покрове на территории города Петровска обнаружено тотальное загрязнение почв подвижными формами цинка. В центральной части города сформированы несколько ядер аномалии со значениями коэффициента опасности выше 3 единиц. Два ядра имеют площадное распределение и три – точечное. Площадные ядра аномалии зафиксированы: первое – по площадкам опробования №№ 1, 20 и 21, второе – по площадкам №№ 29 и 30. Точечные ядра аномалий отмечаются по площадкам №№ 3, 10 и 17. При сохранении тенденции поступления соединений цинка в почвенный покров зоны аномальных концентраций могут расширяться как по площади распространения, так и по интенсивности проявления, что требует особого внимания при проведении повторного эколого-геохимического опробования и экологического мониторинга.

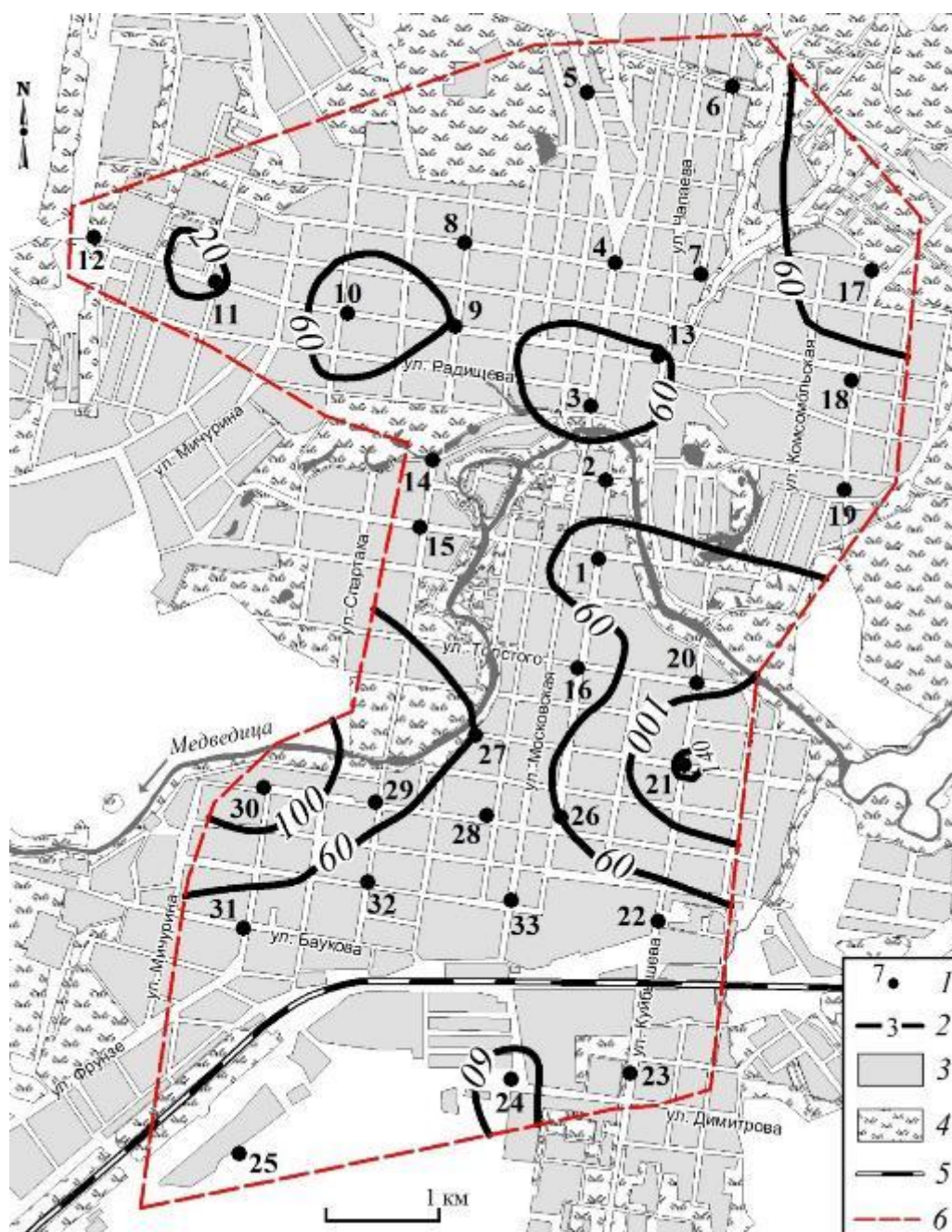


Рисунок 3.18 – Схема распределения подвижных форм цинка в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Zn), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

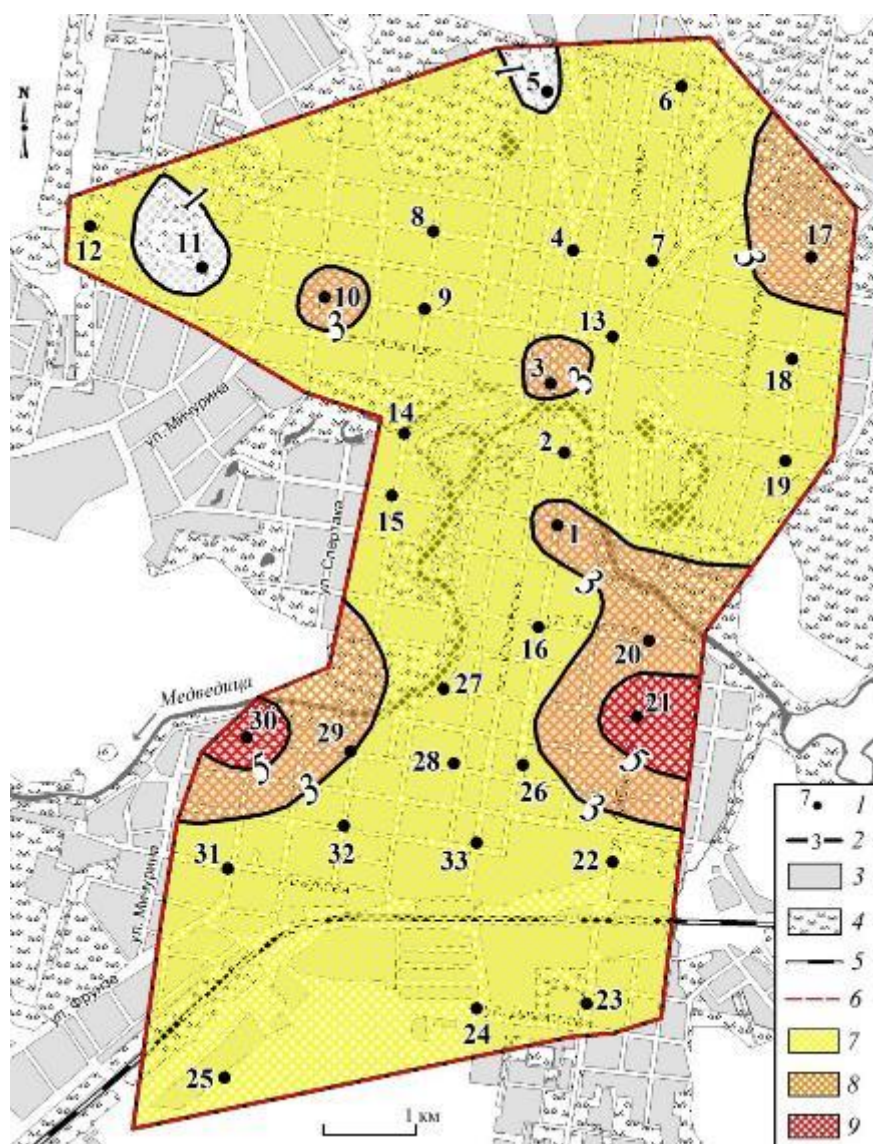


Рисунок 3.19 – Схема распределения коэффициента опасности цинка в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Подвижные формы цинка являются загрязнителем почв на территории города Петровска, и должны быть включены в приоритетный список контролируемых компонентов.

Полученные аналитические данные о содержании тяжелых металлов в почвенном покрове города Петровска были статистически обработаны и проанализированы. Результаты представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Некоторые статистические показатели распределения тяжелых металлов в почвах города Петровска

	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Асимметрия	0,56	2,56	2,61	0,61	2,28	1,47
Эксцесс	-0,47	8,15	8,40	1,16	5,49	2,09
Ст. откл. (S)	1,96	5,72	0,07	0,01	1,40	33,12
Мин. знач.	0,88	2,20	0,03	0,00	0,24	13,79
Ср. знач.	3,79	8,46	0,10	0,02	1,67	54,11
Макс. знач.	7,96	31,37	0,37	0,06	6,46	150,53

По результатам аналитической обработки данных для почв на территории Петровска установлены геохимические ряды:

– по средней концентрации подвижных форм определяемых тяжелых металлов: Zn>Cu>Ni>Pb>Cd>Cr;

– по превышению ПДК: Cu>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr.

Основными загрязнителями почвенного покрова города Петровска являются подвижные формы соединений меди, цинка и никеля. Подвижные формы кадмия, свинца и хрома не превышают ПДК и при дальнейших эколого-геохимических исследованиях им можно уделять меньшее внимание.

В пространственном распределении поллютантов по территории населенного пункта не отмечается четкой территориальной структуры. Некоторые промышленные производства распределены дисперсно и потенциально могут служить источником загрязнения, особенно при залповых выбросах. Основной производственный и коммунально-складской кластер расположен на юге Петровска, вдоль железной дороги, в том числе электромеханический завод «Молот», молокозавод и прочие объекты. Однако в южной части города ярко выражено лишь загрязнение подвижными формами меди.

С целью установления возможных взаимосвязей между исследуемыми компонентами выполнен корреляционный анализ. Результаты представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Коэффициенты корреляции между тяжелыми металлами в почвах на территории города Петровска

	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Ni	1					
Cu	0,22	1,00				
Cd	0,32	0,19	1,00			
Cr	0,15	-0,19	0,13	1,00		
Pb	0,20	0,16	0,61	-0,08	1,00	
Zn	-0,02	0,05	0,42	-0,17	0,49	1,00

Примечание: n = 33, p = 0,01, r = 0,45. Выделены значимые коэффициенты корреляции

Результаты корреляционного анализа выявили значимые корреляционные взаимосвязи между парами элементов Cd–Pb и Pb–Zn. Значимые коэффициенты корреляции между этими элементами, вероятно, связаны с наличием единого источника происхождения. Высокие корреляционные взаимосвязи свинца и кадмия с цинком, одним из загрязнителей почв, указывают на единый источник поступления этих элементов, где цинк является основным элементом, а свинец и кадмий элементами-примесями. Данное предположение требует дополнительных специальных исследований.

В результате исследований получены данные об эколого-геохимическом и санитарно-эпидемиологическом состоянии почв на территории города Петровска. Далее приводятся результаты аналогичных исследований для территории города Хвалынска.

3.1.3 Подвижные формы тяжелых металлов в почвах на территории города Хвалынска

Никель

Концентрация никеля задокументирована во всех пробах и изменяется в интервале от 1,2 до 7,6 мг/кг при среднеарифметическом значении 4,1 мг/кг.

Концентрация никеля на фоновом участке составила 5,6 мг/кг. Величина ПДК – 4 мг/кг. Составлены схемы графические приложения (рисунки 3.20 и 3.21).

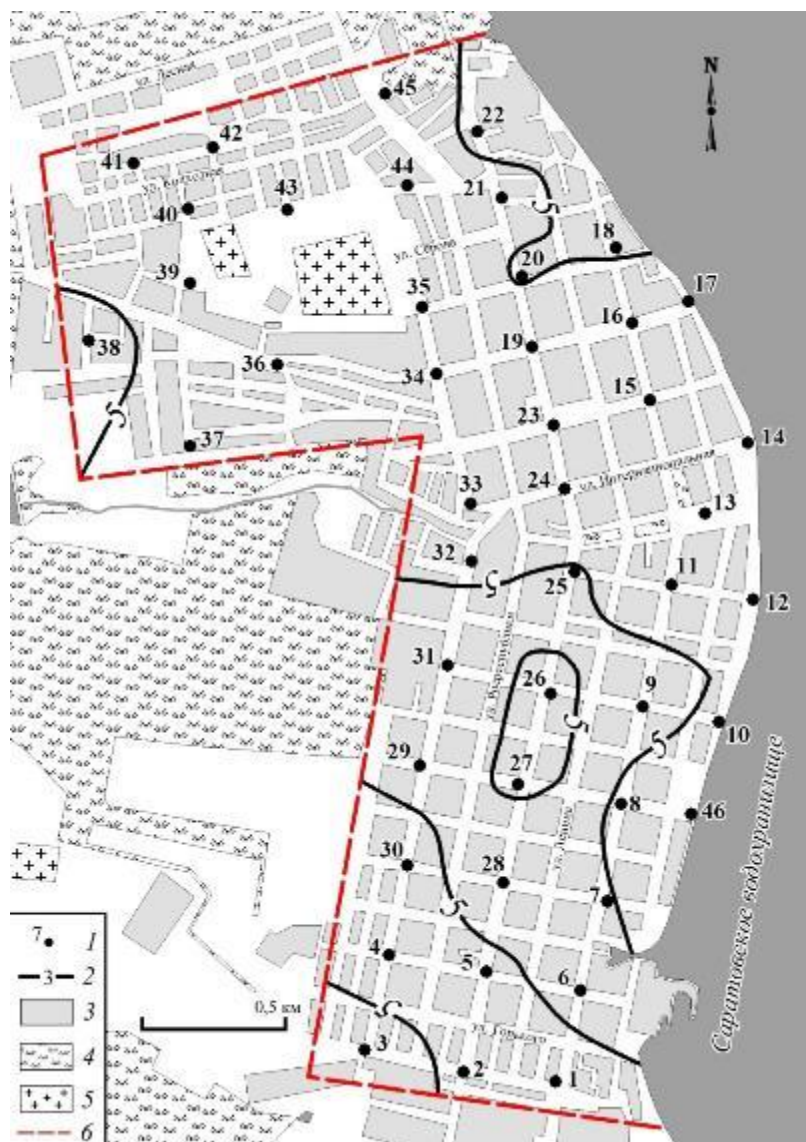


Рисунок 3.20 – Распределение подвижных форм никеля в почвах города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Ni), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона

Величина коэффициента концентрации на территории колеблется в диапазоне от 0,2 до 1,3 единиц при среднеарифметическом значении 0,73, что свидетельствует о незначительной концентрации подвижных форм никеля в пределах города по сравнению с фоновой концентрацией. Важно отметить, что

среднеарифметическое значение фоновой концентрации подвижных форм никеля оказалось выше норматива ПДК.

Значения коэффициента опасности на территории Хвалынска изменяются в диапазоне 0,31–1,92 единиц при среднем значении 1,04. Площадное распределение коэффициента опасности изображено на рисунке 3.21.

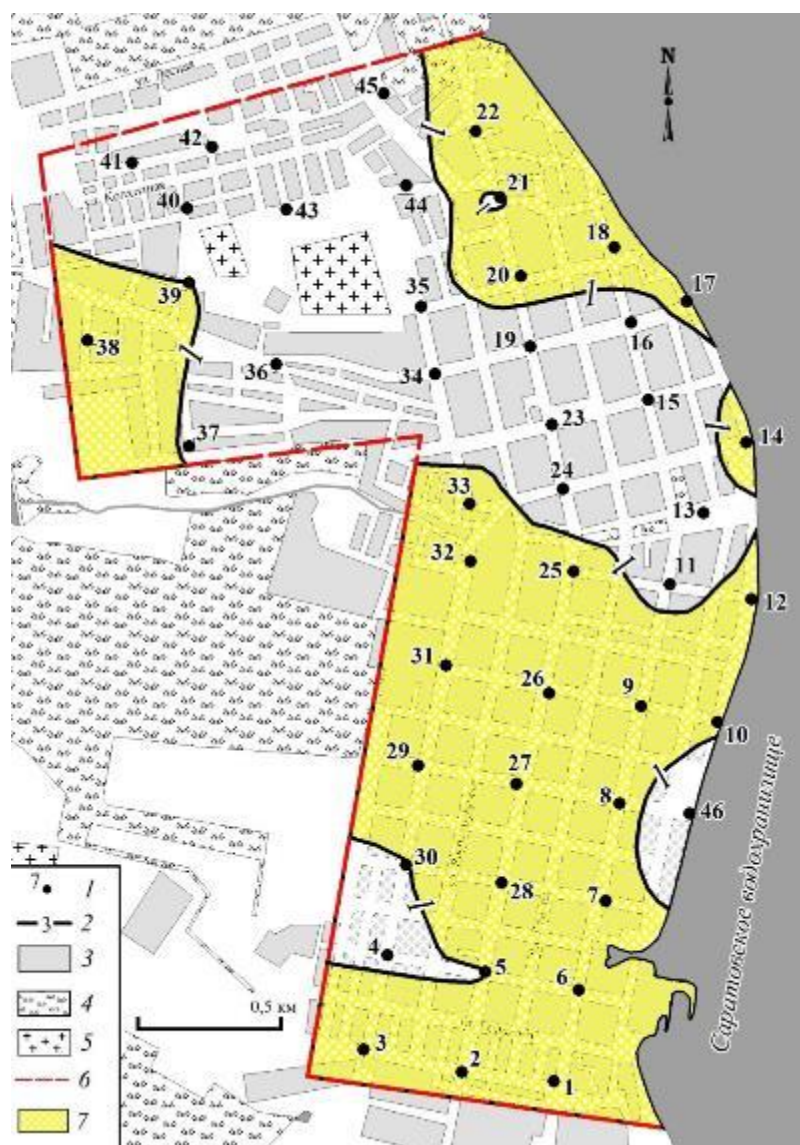


Рисунок 3.21 – Распределение коэффициента опасности никеля в почвах города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

В пределах населенного пункта формируется обширная зона со значениями коэффициента опасности больше 1. Зона зафиксирована в южной, центральной и северо-восточной части города. Принимая во внимание высокое фоновое содержание подвижных форм никеля, можно отметить, что зафиксированное загрязнение почвенного покрова на территории Хвалынска не имеет явных признаков антропогенного происхождения, и, скорее всего, имеет природное происхождение.

Медь

Концентрация меди обнаружена в диапазоне 8,4–213,6 мг/кг при среднеарифметическом значении 20,8 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 2,3 мг/кг, величина ПДК– 3 мг/кг. По результатам работ составлены схемы распределения (рисунок 3.22 и 3.23).

Значение коэффициента концентрации изменяется в интервале от 3,65 до 92,87 при среднем значении 9,05 единиц, что указывает на значительное поступление соединений меди в почву на территории населенного пункта. Источником соединений меди предположительно является антропогенный фактор, например, использование содержащих медь средств защиты растений на приусадебных хозяйствах и коррозия автомобильных деталей.

Коэффициент опасности имеет величину 2,80–71,22 при среднем значении 6,94 единиц. Территориальное распределение коэффициента опасности изображено на рисунке 3.23.

Вся территория города Хвалынска загрязнена подвижными формами меди и представляет собой положительную геохимическую аномалию. В едином геохимическом поле выделяются два крупных участка со значениями коэффициента опасности свыше 5 единиц. Условно два этих участка можно разделить на северный и южный. Северный участок задокументирован по площадкам опробования №№ 18, 21, 22, 35, 36, 38, 39, 42–44. Южный участок – по площадкам опробования №№ 1–3, 5, 6, 9, 10, 12, 25–27, 29–32. Обширное площадное загрязнение почв города соединениями меди, на наш взгляд, обусловлено антропогенными бытовыми источниками загрязнения. Факторами,

которые могут подтверждать данное предположение, являются: отсутствие крупных промышленных источников поступления соединений меди, а также низкие фоновые концентрации, которые исключают проявление природных факторов. Выявленные аномальные зоны требуют принятия природоохранных решений, направленных на очищение почв от соединений меди.

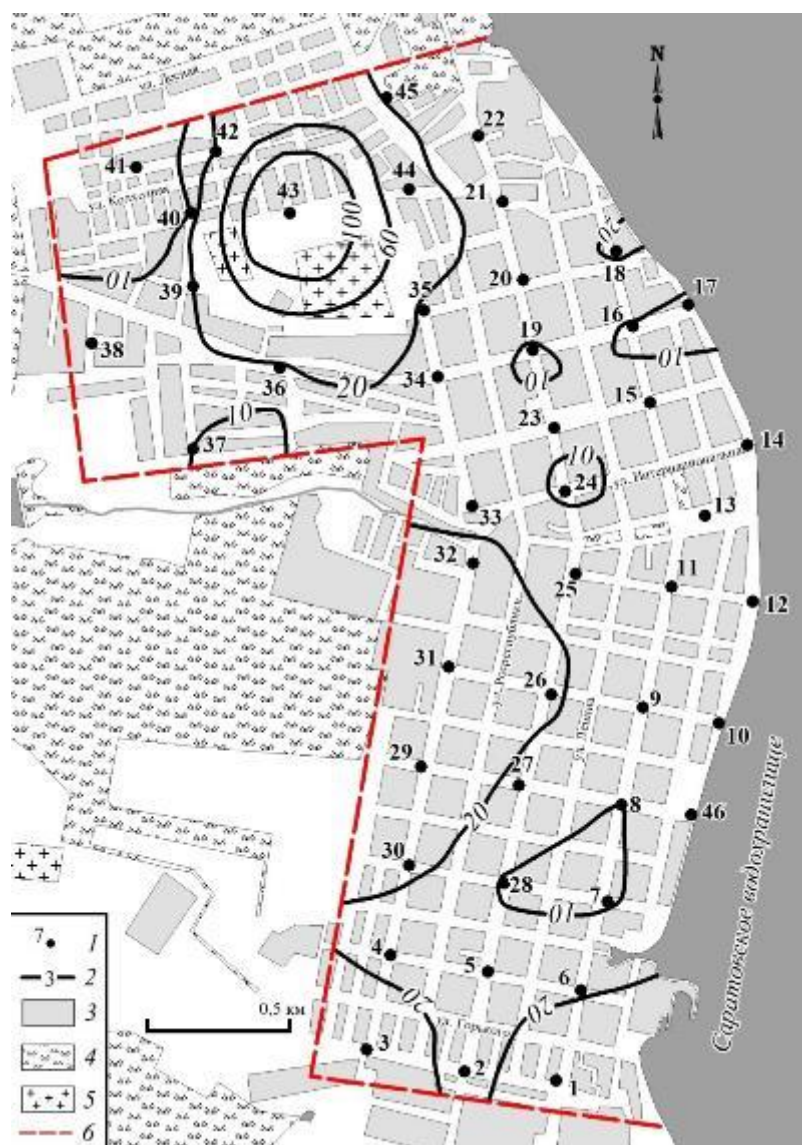


Рисунок 3.22 – Распределение подвижных форм меди в почвах на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cu), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона.

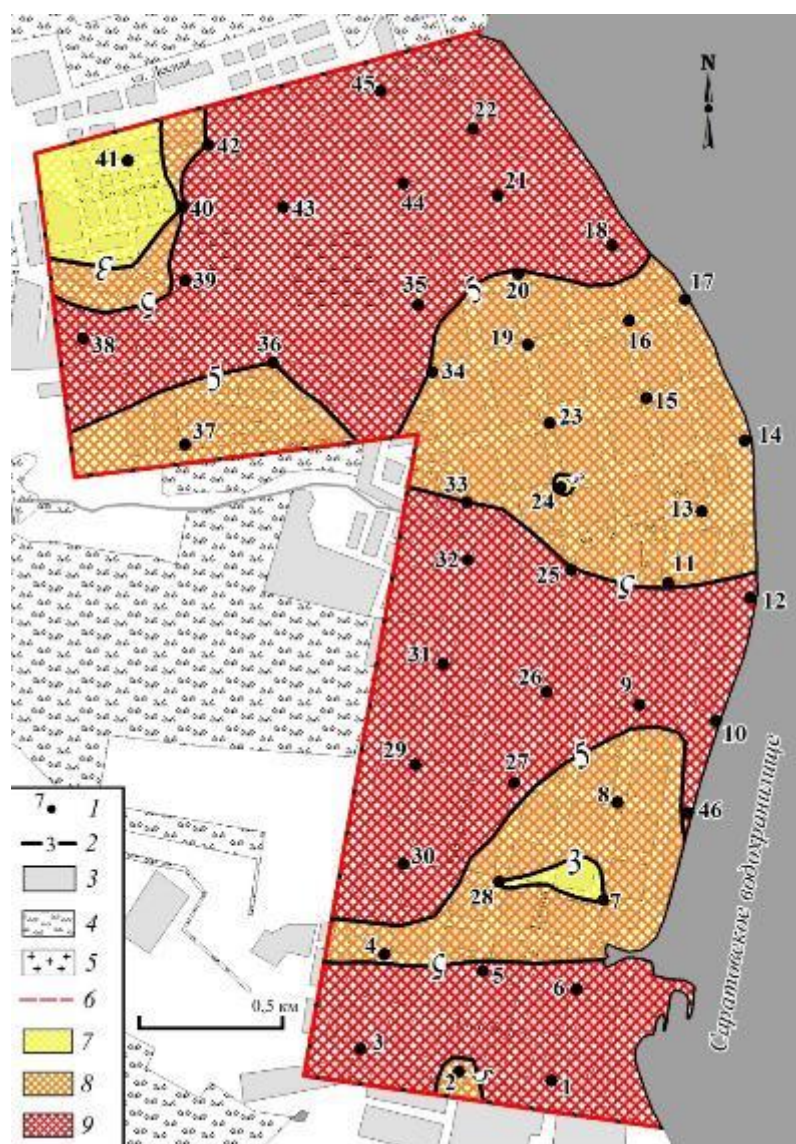


Рисунок 3.23 – Распределение коэффициента опасности меди в почвах города Хвалынска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Свинец

На территории города концентрации свинца зафиксированы в диапазоне от 0,6 до 13,8 мг/кг при среднеарифметическом значении 3,1 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 0,4 мг/кг. Норматив ПДК – 6 мг/кг. По материалам исследований построены схемы распределения подвижных форм никеля (рисунок 3.24) и распределения коэффициента опасности (рисунок 3.25).

Значения коэффициента концентрации изменяются в интервале 1,40–32,32 при среднем значении 7,34 единиц, что свидетельствует о значительном поступлении соединений свинца в почвенный покров.

Значения коэффициента опасности изменяется в интервале от 0,1 до 2,31 при среднем значении 0,53 единиц. Площадное распределение коэффициента опасности изображено на рисунке 3.25.

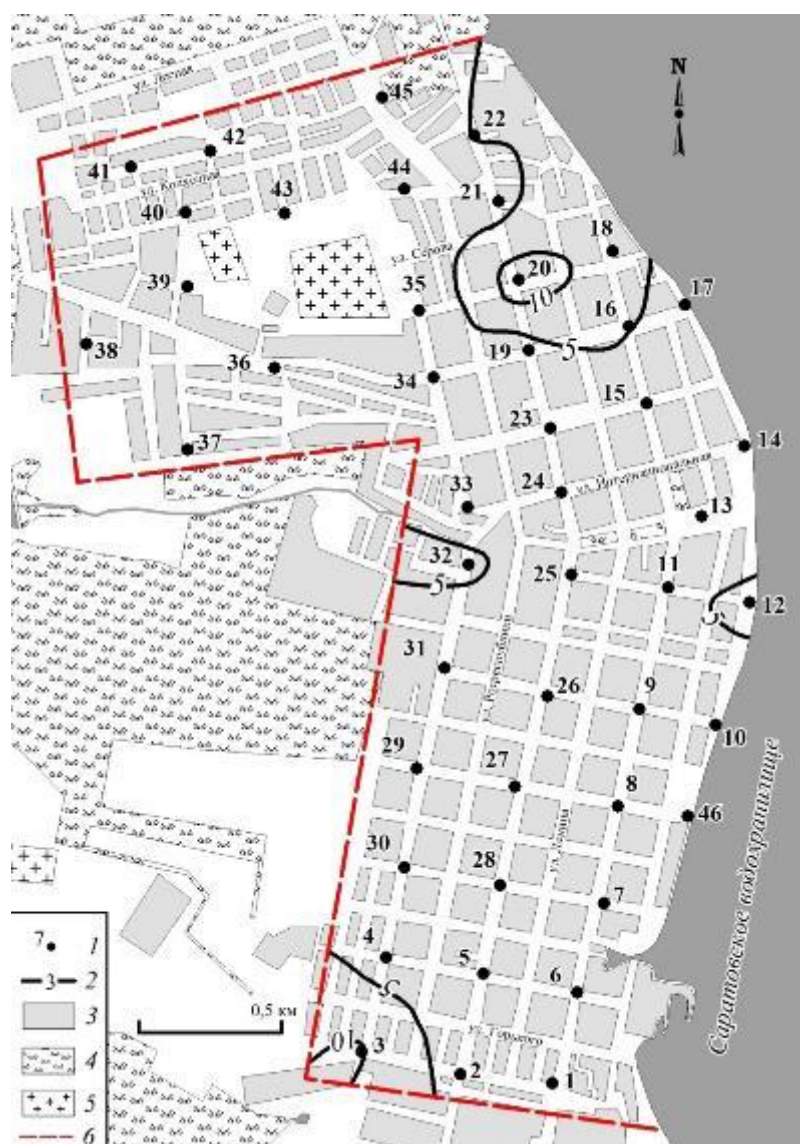


Рисунок 3.24 – Распределение свинца в почвах города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Pb), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона

Практически вся территория Хвалынска не загрязнена подвижными формами соединений свинца. Повышенные концентрации обнаружены на небольших участках, загрязнение носит локальный характер. В южной части города зафиксирована точечная аномалия по площадке опробования № 3. В северо-восточной части города зафиксирована аномалия по двум площадкам опробования №№ 18 и 20.

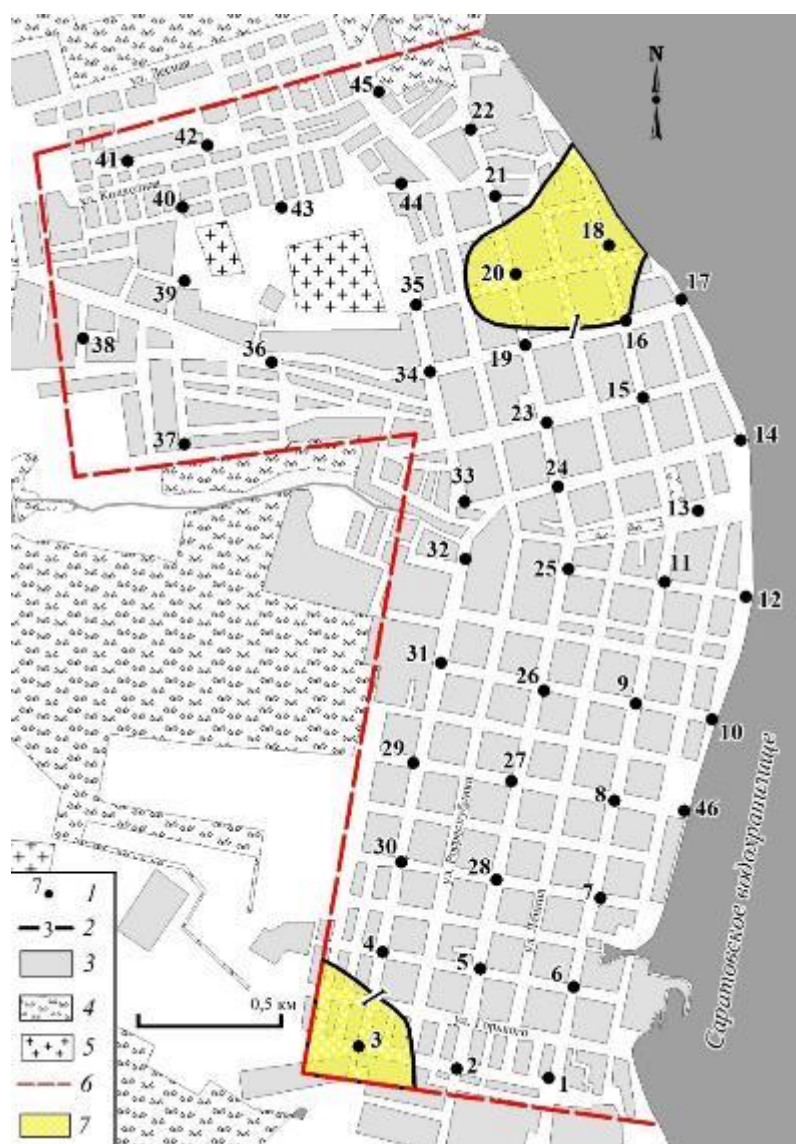


Рисунок 3.25 – Схема распределения коэффициента опасности свинца в почвах на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Свинец – характерный один из основных загрязнителей почв урбанизированных территорий в связи с длительным использованием ранее в автомобильном топливе. Высокие значения коэффициента концентрации указывают на активное поступление свинца в городские почвы. В то же время невысокие значения коэффициента опасности указывает на то, что привнос свинца в почвы привел лишь к локальному загрязнению, где не существенно превышены существующие нормативы ПДК.

Отсутствие зон с аномальным содержанием указывает на относительно благополучное состояние почв по загрязнению свинцом, но при условии сохранения активного поступления соединений свинца, выявленные аномалии могут увеличиться в площадном и количественном отношении, что требует внимания при дальнейших эколого-геохимических исследованиях.

Цинк

Лабораторными работами содержание подвижных форм цинка обнаружено в диапазоне от 12,4 до 149,3 мг/кг при среднеарифметическом значении 63,2 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 5,9 мг/кг, ПДК – 23 мг/кг. Составлены схемы распределения подвижных форм цинка (рисунок 3.26) и распределения коэффициента опасности (рисунок 3.27).

Величина коэффициента концентрации составляет 2,09 – 25,11 при среднем значении 10,63 единиц, что свидетельствует о значительном поступлении соединений цинка в почвы. Значения коэффициента опасности изменяются в интервале от 0,54 до 6,49 при среднем значении 2,75 единиц.

Из рисунка 3.27 следует, что практически все почвы на территории Хвалынска загрязнены подвижными формами цинка. В единой геохимической аномальной зоне выделяется несколько ядер аномалии, в которых значения коэффициента опасности превышают 3 единицы. Сформированы три площадные аномалии, которые условно можно назвать северной, центральной и южной. Северная аномалия выделяется по площадкам опробования №№ 16, 21, 22, 40–42, 45 с максимальным значением коэффициента опасности 6,49 единиц по площадке опробования № 18. Центральная аномалия зафиксирована по площадкам

опробования №№ 11, 13, 31, 32, с центром в площадках опробования №№ 25 и 26, где значения коэффициента опасности равны 5,08 и 5,78 единиц соответственно. Южная аномалия задокументирована по двум площадкам опробования №№ 1 и 3. Таким образом, установлено обширное загрязнение почв подвижными формами соединений цинка, что требует особого внимания со стороны природоохранных служб.

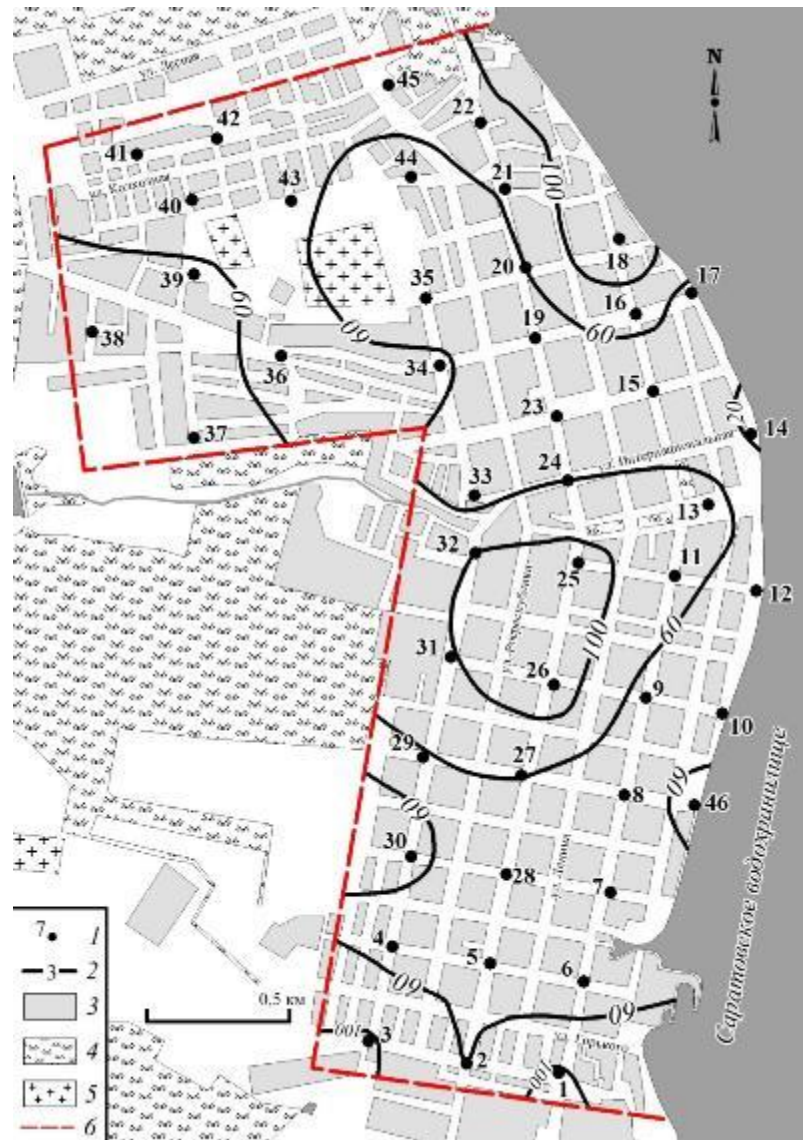


Рисунок 3.26 – Схема распределения подвижных форм цинка в почвах на территории города Хвалы́нск (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Zn), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона.

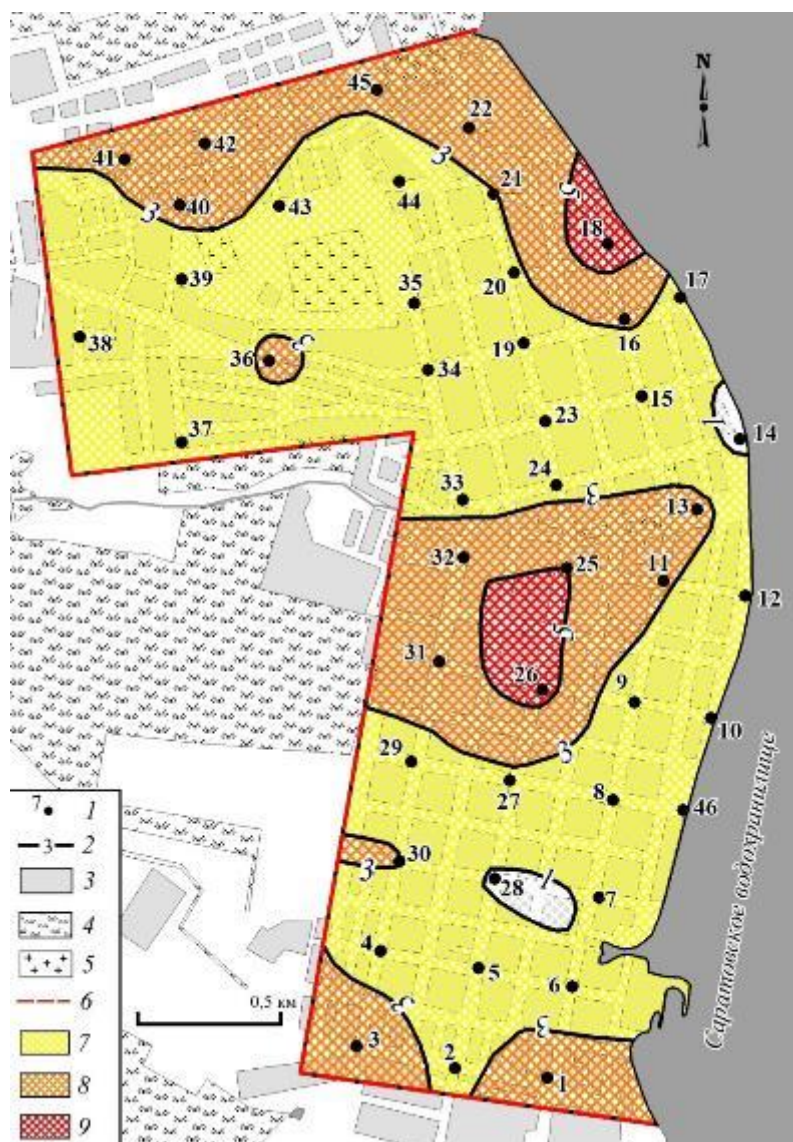


Рисунок 3.27 – Схема распределения коэффициента опасности цинка в почвах на территории города Хвалы́нск (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_0 , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина K_0 : не закрашены участки с $K_0 < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Кадмий

Подвижные форм кадмия по площадкам опробования определены в концентрациях 0,02–0,38 мг/кг со среднеарифметическим значением 0,14 мг/кг. Величина ПДК – 0,5 мг/кг. Фоновая концентрация по результатам анализа

10 фоновых проб составила 0,16 мг/кг. Схема распределения подвижных форм кадмия изображена на рисунке 3.28.

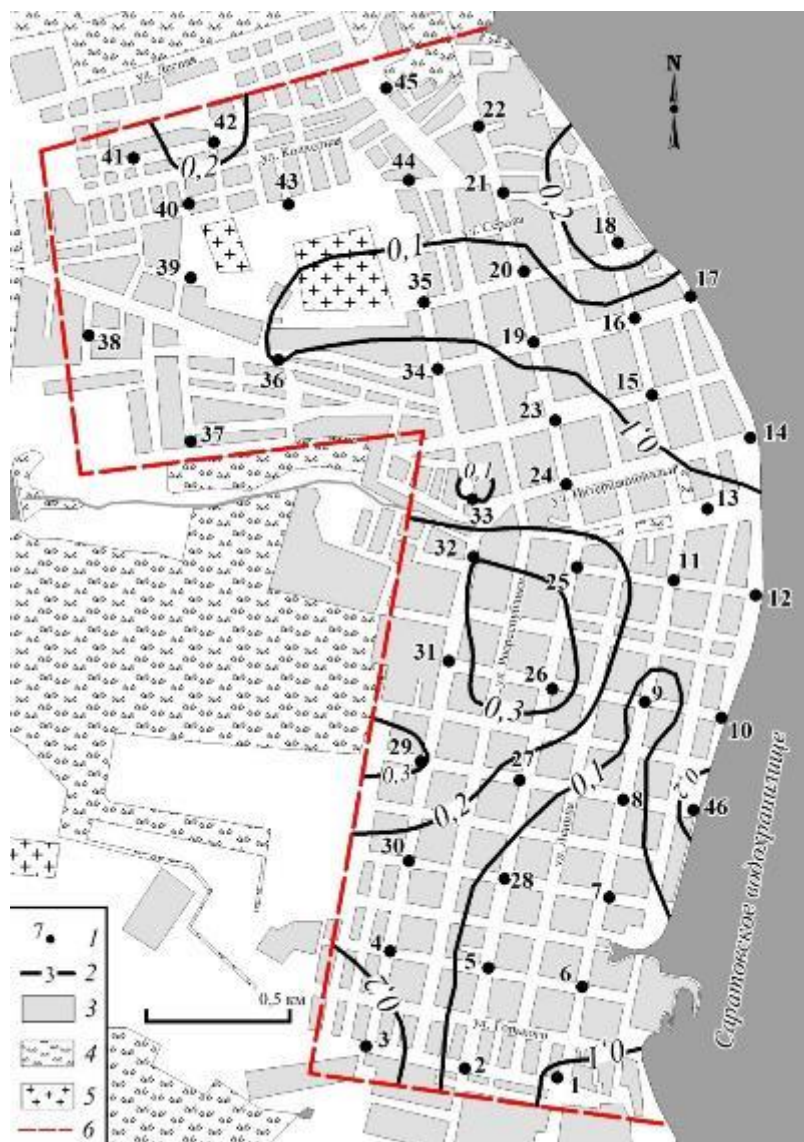


Рисунок 3.28 – Распределение кадмия в почвах города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cd), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона

Величина коэффициента концентрации колеблется в интервале от 0,13 до 2,39 единиц при среднеарифметическом значении 0,92, что свидетельствует о незначительном поступлении соединений кадмия в почвы. Значения коэффициента опасности составляют 0,04–0,75 единиц при среднем значении 0,29, что фиксирует отсутствие загрязнения.

Хром

Концентрация хрома зафиксирована в интервале от 0,13 до 1,05 мг/кг при среднеарифметическом значении равным 0,43 мг/кг. Норматив ПДК – 6 мг/кг. Концентрация на фоновом участке равна 0,08 мг/кг. На рисунке 3.29 представлена схема распределения подвижных форм хрома на территории города.

Коэффициент концентрации принимает значение от 1,61 до 12,96 единиц при среднем значении 5,33, что свидетельствует о значительном поступлении соединений хрома в результате антропогенной нагрузки. Значения коэффициента опасности изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,18 единиц при среднем значении 0,53, что указывает на соответствие качества почв нормативным показателям ПДК для населенных пунктов.

Несмотря на отсутствие загрязнения почв подвижными формами соединений хрома относительно ПДК, следует обратить внимание на высокие значения коэффициента концентрации, указывающие на активное техногенное поступление соединений хрома в городские почвы. Возможно, при сохранении источников и темпов поступления поллютантов их концентрации могут достичь предельно нормативных показателей, и сформировать зоны с аномальным значением соединений хрома. Рекомендуется сохранить хром и кадмий как приоритетные элементы при проведении эколого-геохимических исследований на территории города Хвалынска.

Полученные аналитические данные о содержании тяжелых металлов в почвах города Хвалынска статистически обработаны и проанализированы. Результаты представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Некоторые статистические показатели распределения тяжелых металлов в почвах города Хвалынска

	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Асимметрия	0,15	6,21	0,70	0,89	2,38	0,78
Эксцесс	-0,45	40,58	-0,14	0,88	6,92	0,35
Ст. откл. (S)	1,49	29,93	0,09	0,20	2,60	30,57
Мин. знач.	1,23	8,41	0,02	0,13	0,60	12,45
Ср. знач.	4,14	20,82	0,14	0,43	3,15	63,24
Макс. знач.	7,67	213,66	0,38	1,05	13,87	149,36

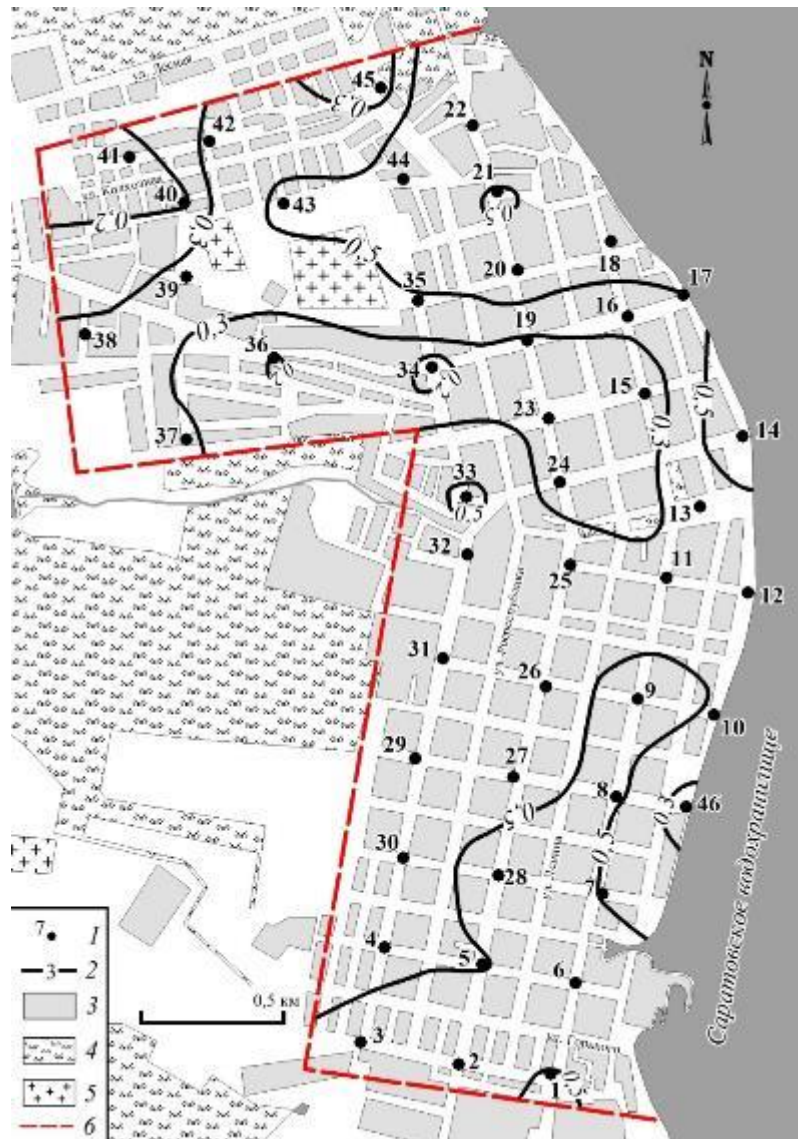


Рисунок 3.29 – Схема распределения подвижных форм хрома в почвах города Хвалынск (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания (Cr), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона

По результатам аналитической обработки для почв города Хвалынска установлены геохимические ряды элементов:

- по средней концентрации подвижных форм: $Zn > Cu > Ni > Pb > Cr > Cd$;
- по отношению к ПДК: $Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > Cr$.

Основными загрязнителями почвенного покрова Хвалынска являются подвижные формы соединений меди, цинка и никеля. Подвижные формы кадмия и хрома не превышают ПДК.

Особенностью пространственного загрязнения почв тяжелыми металлами на территории Хвалынска является отсутствие приуроченности очагов и аномалий к зонам воздействия промышленных объектов. Расположенные в северной части города предприятия – маслодельный завод и машиностроительный завод гидроаппаратуры, по существу, не формируют сколько-нибудь выраженных повышенных концентраций определяемых металлов. Не обнаруживается воздействия пищевых производств в южной части города. С учетом розы ветров, возможно незначительное влияние завода электронного машиностроения, расположенного за юго-западной границей городской застройки.

С целью установления возможных взаимосвязей между исследуемыми компонентами проведен корреляционный анализ (таблица 3.6).

Таблица 3.6 - Коэффициенты корреляции между тяжёлыми металлами в почвах города Хвалынска

	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Ni	1					
Cu	0,22	1,00				
Cd	0,32	0,19	1,00			
Cr	0,15	-0,19	0,13	1,00		
Pb	0,20	0,16	0,61	-0,08	1,00	
Zn	-0,02	0,05	0,42	-0,17	0,49	1,00

Примечание: n = 46, p = 0,01, r = 0,37. Выделены значимые коэффициенты

Результаты корреляционного анализа выявили значимые корреляционные взаимосвязи между следующими парами элементов Cd–Pb, Pb–Zn и Zn–Cd. Значимые коэффициенты корреляции между этими элементами указывают, вероятно, на их единый источник происхождения. Высокие корреляционные взаимосвязи свинца и кадмия с цинком может указывать на единый источник поступления этих элементов, где цинк является основным элементом, а свинец и кадмий элементами-примесями.

В результате проведенных исследований получены данные о поэлементном эколого-геохимическом и санитарно-эпидемиологическом состоянии почв

исследуемых городов. Далее рассмотрен вопрос об оценке суммарного загрязнения почв.

3.1.4 Суммарное загрязнение почв исследуемых городов

Суммарное загрязнение почвенного покрова оценивалось по трем параметрам: традиционный коэффициент суммарного загрязнения, рассчитанный от коэффициента концентрации (Z_c); коэффициент суммарного загрязнения, рассчитанный от коэффициента опасности (Z_o), и индекс загрязнения почвы (ИЗП).

Согласно СанПиН 2.1.7.1287-03 и МУ 2.1.7.730-99 земли со значениями суммарного показателя (Z_c) до 16 единиц относятся к категории с допустимым загрязнением; от 16 до 32 – с умеренно опасным загрязнением; от 32 до 128 – с опасным; свыше 128 – с чрезвычайно опасным загрязнением. Площадное распределение коэффициента суммарного загрязнения в почвах на территории исследуемых городов представлено на рисунках 3.30, 3.31 и 3.32.

Значения Z_c в почвах города Вольска колеблются в интервале от 5,0 до 444,9 единиц при среднеарифметическом значении 80,1 единиц. Практически весь почвенный покров на территории Вольска относится к категории с опасным и чрезвычайно опасным уровнем загрязнения (рисунок 3.30), что свидетельствует о значительном поступлении тяжелых металлов в почвы по сравнению с их фоновыми концентрациями. Почвы испытывают сильное антропогенное воздействие, что приводит к формированию эколого-геохимических зон с аномально высокими концентрациями тяжелых металлов.

Суммарный коэффициент загрязнения в почвах на территории Петровска варьирует в интервале от -1,46 до 17,31 единиц при среднем значении 3,83, что свидетельствует о незначительном поступлении соединений тяжелых металлов. Все почвы на территории города относятся к категории с допустимым уровнем загрязнения, за исключением площадки опробования № 30, в которой значение Z_c составляет 17,31 и почвы относятся к категории с умеренно опасным

загрязнением. Пространственное распределение суммарного коэффициента загрязнения представлено на рисунке 3.31.

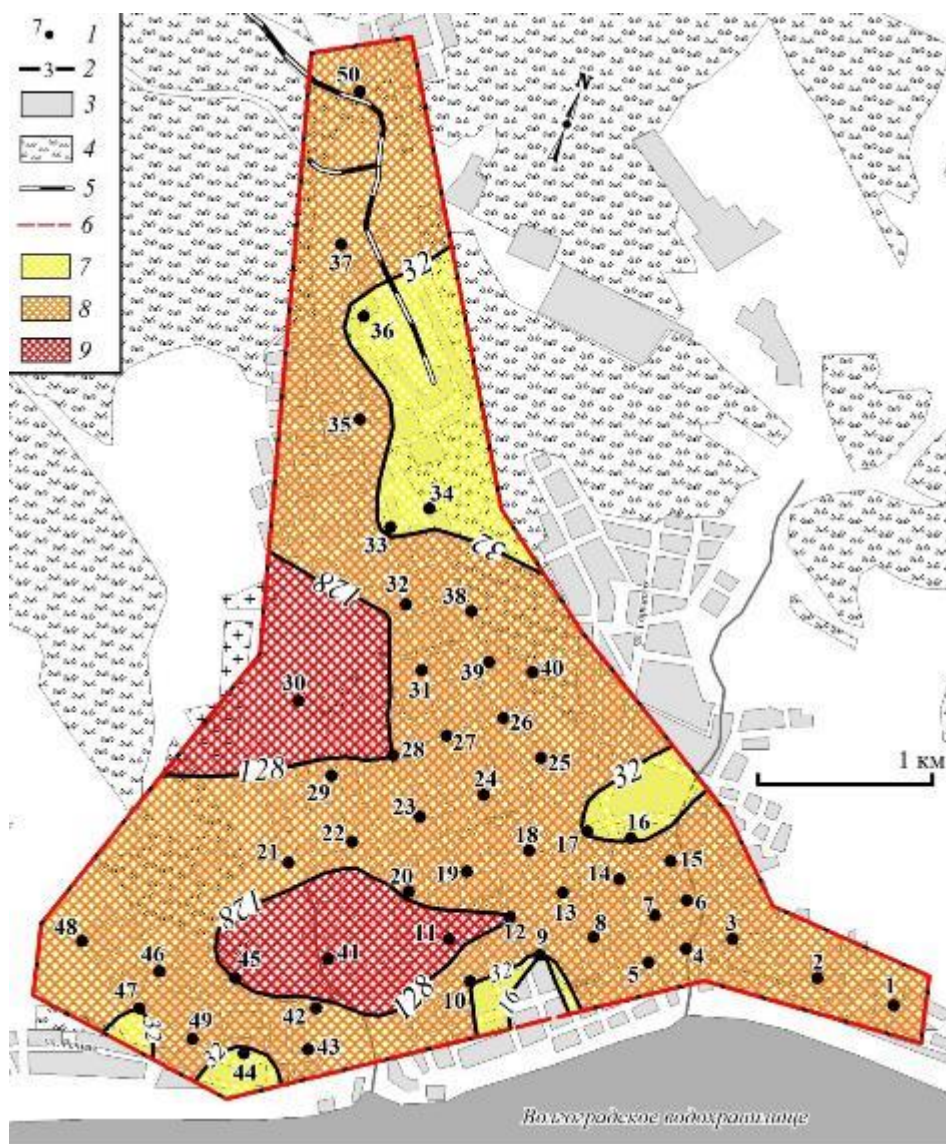


Рисунок 3.30 – Схема распределения суммарного коэффициента загрязнения (Z_c) в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин Z_c , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; категории загрязнения почв по величине Z_c : не закрашены участки с допустимым загрязнением (< 16), 7 – умеренно-опасное (16–32), 8 – опасное (32–128), 9 – чрезвычайно опасное (> 128).

Суммарный коэффициент загрязнения в почвах Хвалынского имеет величины 12,42–109,43 единиц при среднем значении 29,0, что фиксирует значительное поступление соединений тяжелых металлов. Практически весь почвенный покров

в пределах города относится к категории с умеренно опасным и опасным загрязнением. Распределение суммарного коэффициента загрязнения почв на территории Хвалынского представлено на рисунке 3.32.

При анализе распределения суммарного коэффициента загрязнения на территории исследуемых городов установлено, что в пределах города Вольска почвы испытывают максимальное антропогенное воздействие (среднеарифметическое значение Z_c составляет 80,1). Меньший уровень загрязнения почв по результатам расчета Z_c обнаружен в почвах на территории города Хвалынского (среднеарифметическая величина Z_c равна 29,0). Наименьшее значение суммарного коэффициента загрязнения зафиксировано в почвах города Петровска (среднее значение 3,83 единиц).

Сложившаяся ситуация объясняется различным содержанием тяжелых металлов на фоновых участках, выбранных для исследуемых городов. Для почв фоновых участков для городов Вольска и Хвалынского концентрации тяжелых металлов практически идентичны, а для города Петровска они значительно выше. Среднеарифметические значения концентрации тяжелых металлов на фоновых участках представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Значения концентрации тяжелых металлов на фоновых участках, мг/кг

Город / Элемент	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Вольск	5,68	2,28	0,15	0,08	0,42	5,84
Петровск	12,37	5,12	0,09	0,12	3,85	10,56
Хвалынский	5,69	2,31	0,16	0,08	0,43	5,84

Отличия в концентрации фоновых значений подвижных форм тяжелых металлов обусловлены, скорее всего, разницей в геологическом строении, а именно в материнских почвообразующих породах. В районах городов Вольска и Хвалынского почвы формируются преимущественно на карбонатных породах

мелового возраста, а в пределах города Петровска – на покровных суглинках четвертичного возраста.

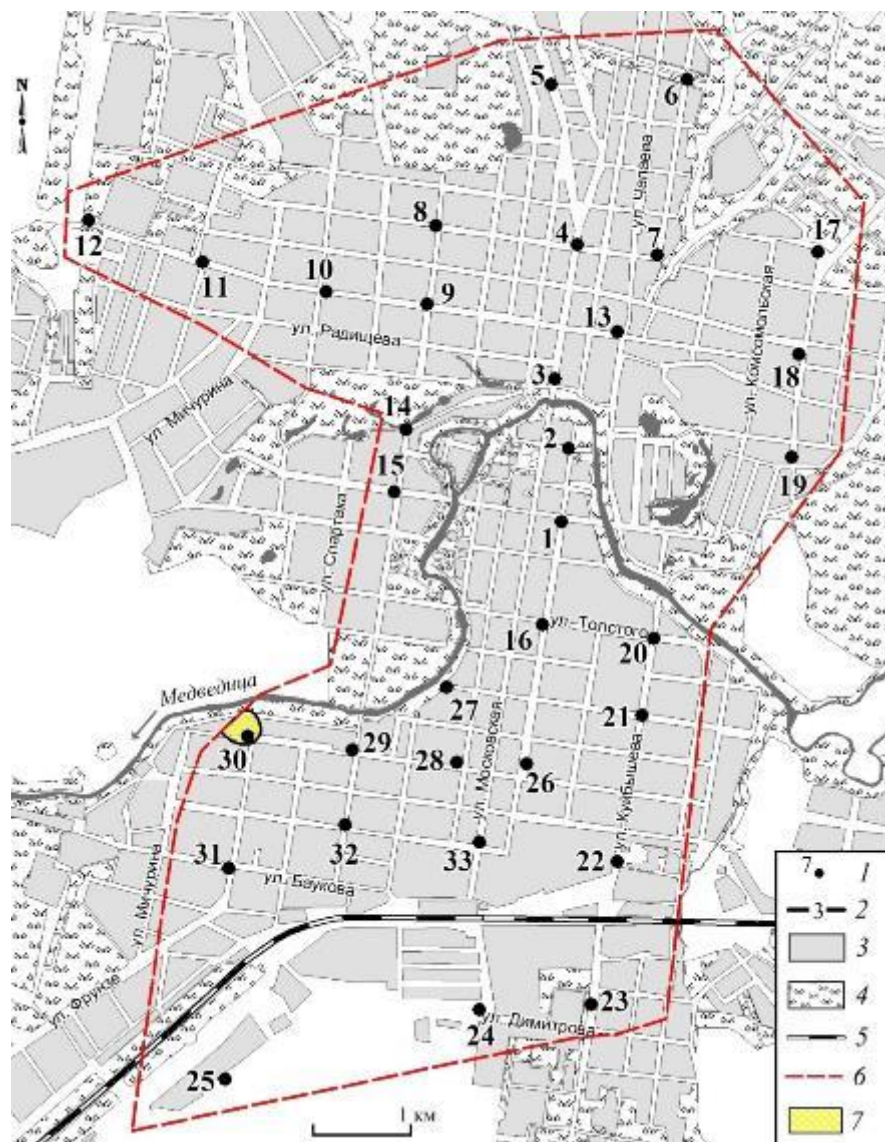


Рисунок 3.31 – Схема распределения суммарного коэффициента загрязнения (Z_c) в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин Z_c , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; категории загрязнения почв по величине Z_c : не закрашены участки с допустимым загрязнением (<16), 7 – умеренно-опасное (16–32).

На основе выше изложенного заключаем, что использование суммарного коэффициента загрязнения, рассчитываемого от фоновой концентрации элемента, не всегда отражает реальное эколого-геохимическое состояние почв. Расчет Z_c

осложняется рядом факторов, например, отсутствием возможности выбора фонового участка на высоко освоенных территориях, пестротой ландшафтно-геологических условий на выбранных фоновых участках, различными концентрациями элементов и другими.

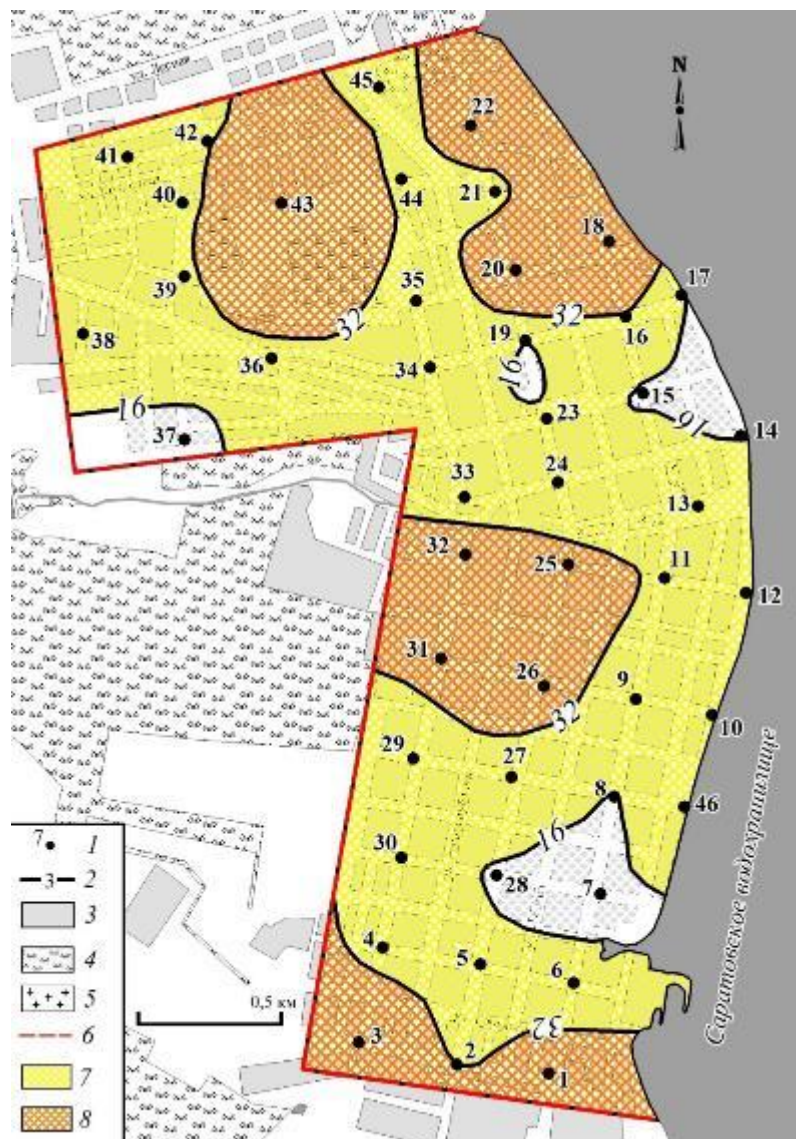


Рисунок 3.32 - Схема распределения суммарного коэффициента загрязнения (Z_c) в почвах на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин Z_c , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; категории загрязнения почв по величине Z_c : не закрашены участки с допустимым загрязнением (<16), 7 – умеренно-опасное (16–32), 8 – опасное (32–128),

В работе рассчитаны некоторые альтернативные, не закрепленные в нормативных документах, обобщающие показатели загрязнения почв по нескольким элементам. Один из таких показателей – суммарный коэффициент опасности Z_0 , рассчитываемый по формуле, аналогичной расчету Z_c , но вместо коэффициента концентрации в формуле суммируются коэффициенты опасности. Значения суммарного коэффициента опасности не регламентируются нормативными документами, вследствие чего решено использовать классификацию степени загрязнения, применяемую для показателя Z_c . Подобная интерпретация не является общепринятой, и использована в настоящей работе в качестве экспериментальной и требует дополнительного обсуждения. Главное преимущество подобного подхода, на наш взгляд, заключается в уходе от случайных ошибок в установлении фона, и ориентации на эколого-гигиенические нормативы для городской среды жизни населения.

Рассчитанные величины показателя Z_0 в почвах города Вольска колеблются в промежутке от -3,37 до 49,6 единиц, при среднеарифметическом значении 8,17 единиц. Площадное распределение показателя Z_0 представлено на рисунке 3.33.

Использование коэффициента суммарной опасности в качестве показателя при оценке степени загрязненности почвенного покрова приводит нас к более оптимистичным результатам, чем при использовании показателя Z_c . Применяя 16-ти кратную градацию при использовании Z_0 в качестве интегрального параметра, земли с загрязнением, превышающим ПДК до 16 раз, относятся к категории с допустимым загрязнением, что искажает реальную санитарно-гигиеническую обстановку. Например, при данном подходе на территории города Вольска с высокой антропогенной нагрузкой на почвенный покров, формируется незначительная зона с аномальным содержанием тяжелых металлов, зафиксированная по двум площадкам опробования №№ 41 и 45 и одна локальная точечная аномалия по площадке опробования № 30.

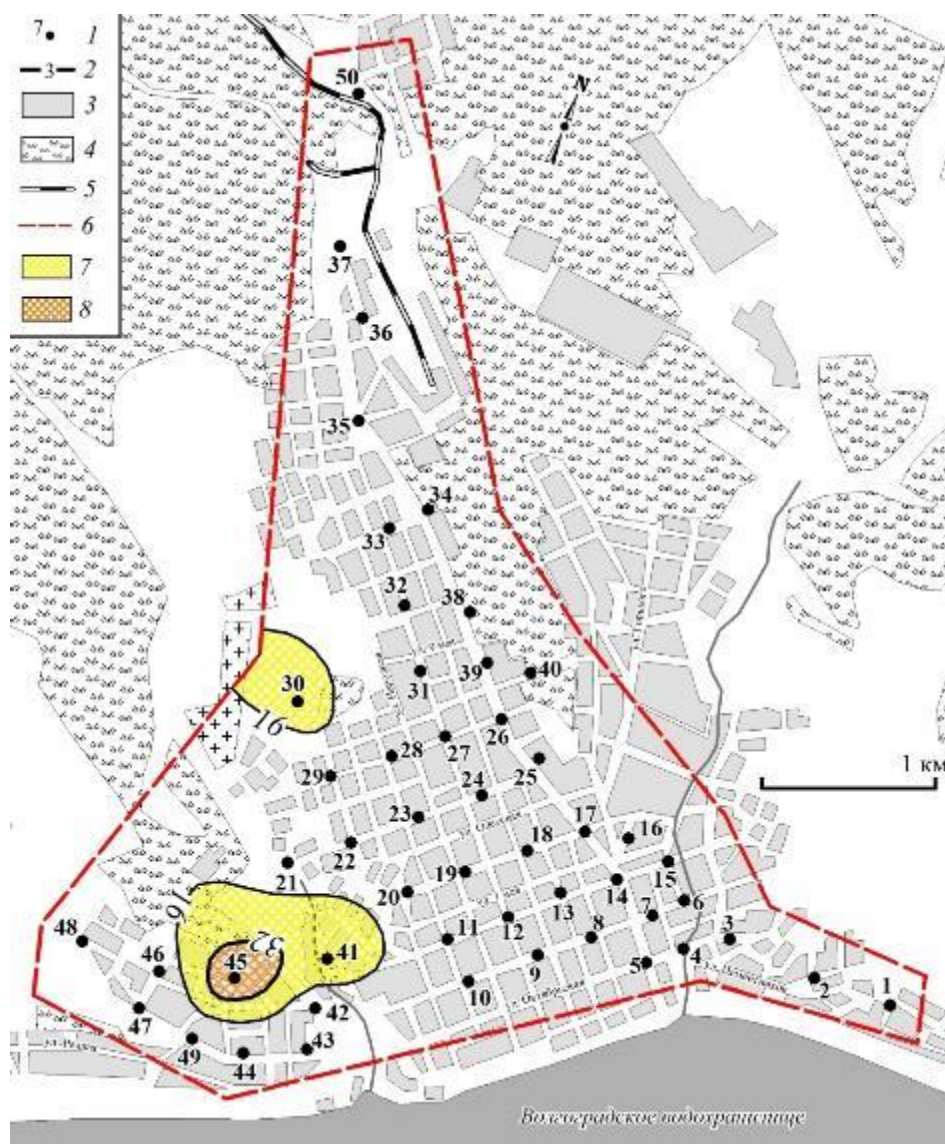


Рисунок 3.33 – Схема распределения суммарного коэффициента опасности (Z_o) в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин Z_o , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; категории загрязнения почв по величине Z_o : не закрашены участки с допустимым загрязнением (<16), 7 – умеренно-опасное (16-32), 8 – опасное (32-128)

Значения коэффициента суммарной опасности в почвах на территории города Хвалынска варьирует в диапазоне 0,81–70,42 единиц при среднем значении 6,61. Пространственное распределение Z_o представлено на рисунке 3.34. На схеме показаны две сформированные точечные аномалии: в северной части

города по площадке опробования № 43 и в южной части города по площадке опробования № 3.

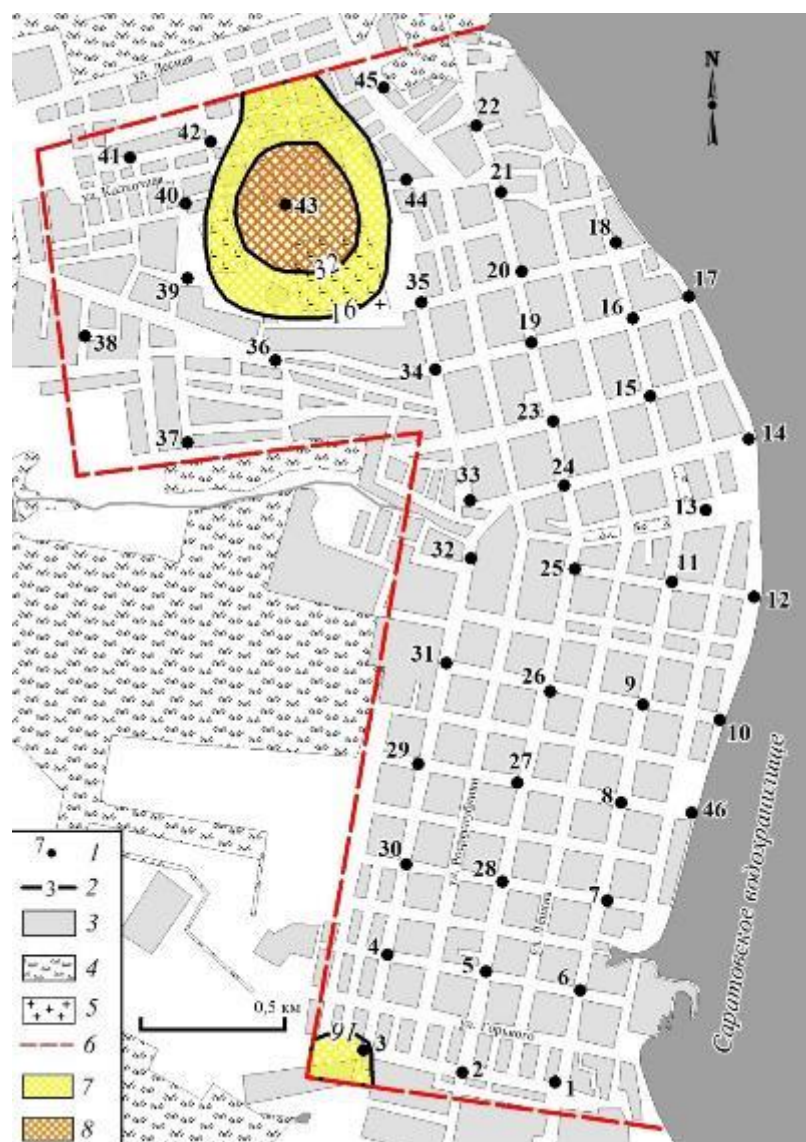


Рисунок 3.34 – Схема распределения суммарного коэффициента загрязнения (Z_o) в почвах на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин Z_c , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; категории загрязнения почв по величине Z_o : не закрашены участки с допустимым загрязнением (<16), 7 – умеренно-опасное (16–32), 8 – опасное (32–128)

Значения коэффициента суммарной опасности в почвах на территории города Петровска варьируют в диапазоне от -2,75 до 8,59 единиц со среднеарифметическим значением 1,60. Все исследуемые пробы относятся к

одной категории (с допустимым загрязнением), и построение схемы площадного распределения не выполнялось.

При анализе распределения суммарного коэффициента опасности по территории исследуемых городов, установлено, что в пределах Вольска почвы испытывают максимальное антропогенное воздействие (среднеарифметическое значение Z_0 составляет 8,17). Меньший уровень загрязнения почв по результатам расчета Z_0 обнаружен в почвах на территории города Хвалынска (среднеарифметическое значение 6,61 единиц). Наименьшее значения суммарного коэффициента опасности отмечается в почвах города Петровска (1,60 единиц).

При использовании коэффициента суммарной опасности, получили ранжирование городов по эколого-геохимическому состоянию почв, схожее с результатами при использовании коэффициента суммарного загрязнения.

Еще одним интегральным показателем загрязнения почвы является индекс загрязнения почвы (ИЗП), в основе которого лежит суммирование коэффициентов опасности. Применение подхода с расчетом значения ИЗП подтверждает гигиенически охарактеризованное разделение территории города по степени опасности проживания. При использовании ИЗП для оценки категории загрязнения используется следующая классификация: от 0 до 0,75 единиц – участок относится к категории «чистый»; от 0,75 до 1 – «проблемный»; >1 – «загрязненный».

Для территории города Вольска значения показателя ИЗП изменяются в интервале от 0,27 до 9,1 при среднем значении 2,19. Площадное распределение ИЗП в почвах Вольска показано на рисунке 3.35.

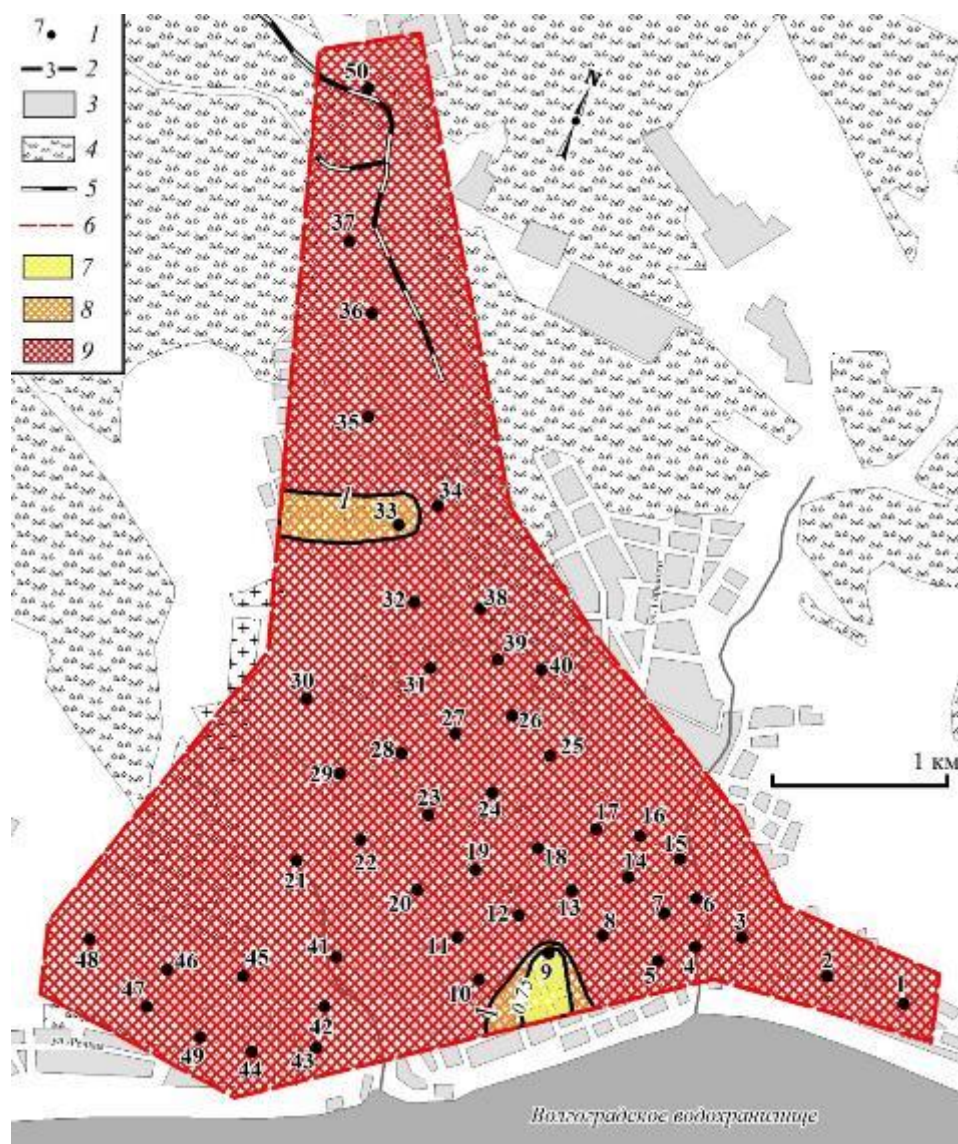


Рисунок 3.35 – Распределение индекса загрязнения почв города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин ИЗП, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; категория загрязнения участка по ИЗП: 7 – проблемная (0,75–1 ед.), 8 – загрязненная (>1 ед.)

Почвы практически на всей территории города Вольска относятся к категории загрязненных, за исключением двух площадок опробования: № 9 – относится к категории чистого участка; № 33 – к категории проблемного участка.

Значения показателя ИЗП для территории города Петровска изменялись в интервале от 0,38 до 2,27 при среднем значении 1,10. Пространственное распределение представлено на рисунке 3.36.

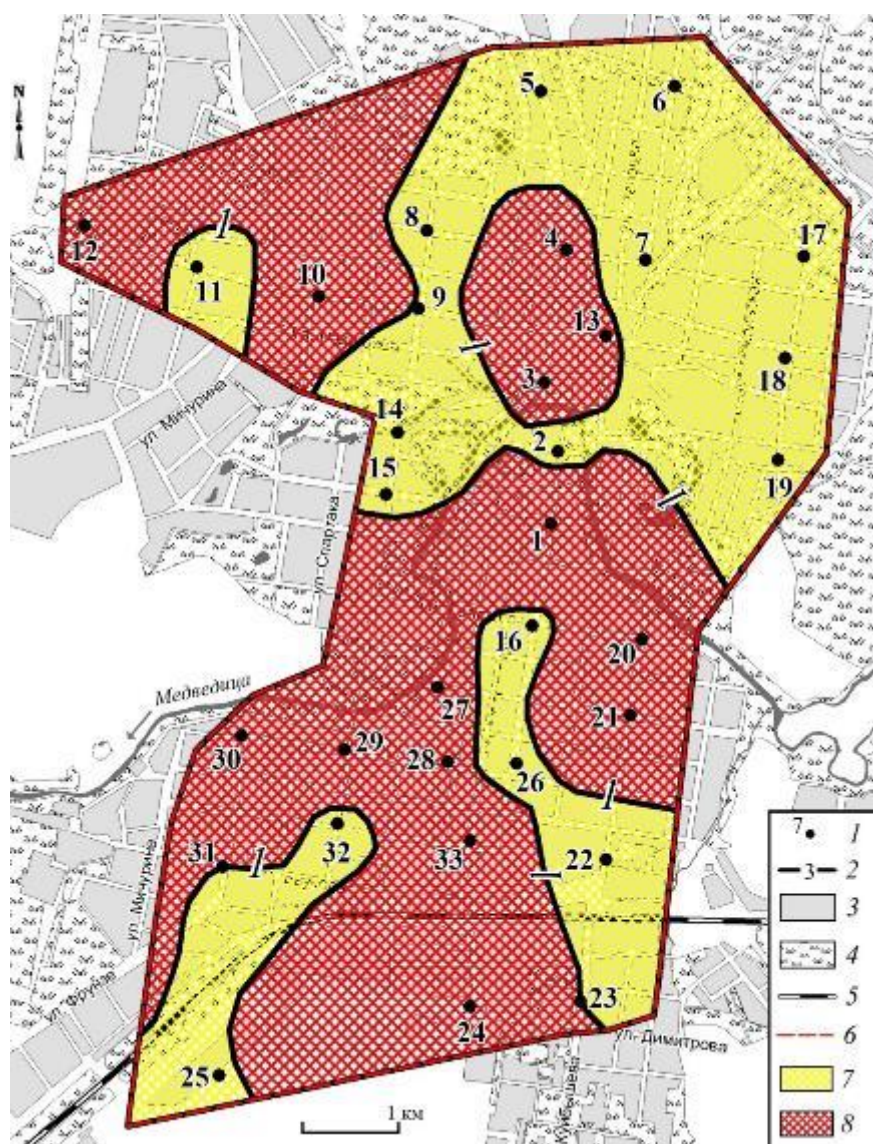


Рисунок 3.36 – Схема распределения индекса загрязнения почв на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин ИЗП, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; категория загрязнения участка по ИЗП: 7 – проблемная (0,75–1 ед.), 8 – загрязненная (>1 ед.)

Большая часть почв в пределах города Петровска относится к категории загрязненных – 15 площадок опробования из 33, к категории проблемных – 12 площадок опробования и к категории чистых – 6 площадок опробования.

Значения показателя ИЗП на территории города Хвалынска изменялись в интервале от 0,97 до 12,57 при среднем значении 1,94. Пространственное распределение представлено на рисунке 3.37.



Рисунок 3.37 – Схема распределения индекса загрязнения почвы на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин ИЗП, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; категория загрязнения участка по ИЗП: 7 – проблемная (0,75–1 ед.), 8 – загрязненная (>1 ед.)

В границах города Хвалынска все почвы относятся к категории загрязненных, за исключением площадок опробования №№ 7 и 19, в которых почвы диагностируются категорией проблемных.

При анализе распределения индекса суммарного загрязнения по исследуемым городам установлено, что в пределах города Вольска почвы испытывают максимальное антропогенное воздействие и среднеарифметическое

значение ИЗП равно 2,19. Меньший уровень загрязнения почв по результатам расчета ИЗП выявлен в почвах города Хвалынска (среднеарифметическое значение 1,94). Наименьшее значение ИЗП отмечается в почвах города Петровска – 1,1 единиц. Таким образом, при использовании ИЗП получены данные об эколого-геохимическом состоянии почв исследуемых городов, схожие с результатами при использовании Z_c и Z_o .

Анализ результатов оценки состояния почвенного покрова по трем показателям суммарного загрязнения показывает, что в целом примененные критерии одинаково диагностируют степень загрязнения почв. Наиболее загрязненные почвы, по всем трем суммарным показателям, располагаются в пределах города Вольска. Меньшую степень загрязнения имеют почвы на территории Хвалынска. Наименее загрязненные почвы расположены на территории Петровска.

На наш взгляд, из трех рассчитанных показателей суммарного загрязнения индекс загрязнения почв обеспечивает экологически и гигиенически обоснованную дифференциацию территории по степени опасности проживания населения. Индекс загрязнения почв основывается на гигиенических нормативах, поэтому интерпретация результатов его расчетов безальтернативна и информативна при оценке состояния почв городов.

3.2 Содержание органического вещества и нефтепродуктов в почвах

3.2.1 Органическое вещество и нефтепродукты в почвах города Вольска

Органическое вещество почвы (гумус) определялось во всех 50 отобранных пробах. Установлено, что концентрация органического вещества (гумус) изменяется от 0,5% до 2,3%, со среднеарифметическим значением 1,8% [65]. Результаты послужили основой построения схемы распределения органического вещества (рисунок 3.38).

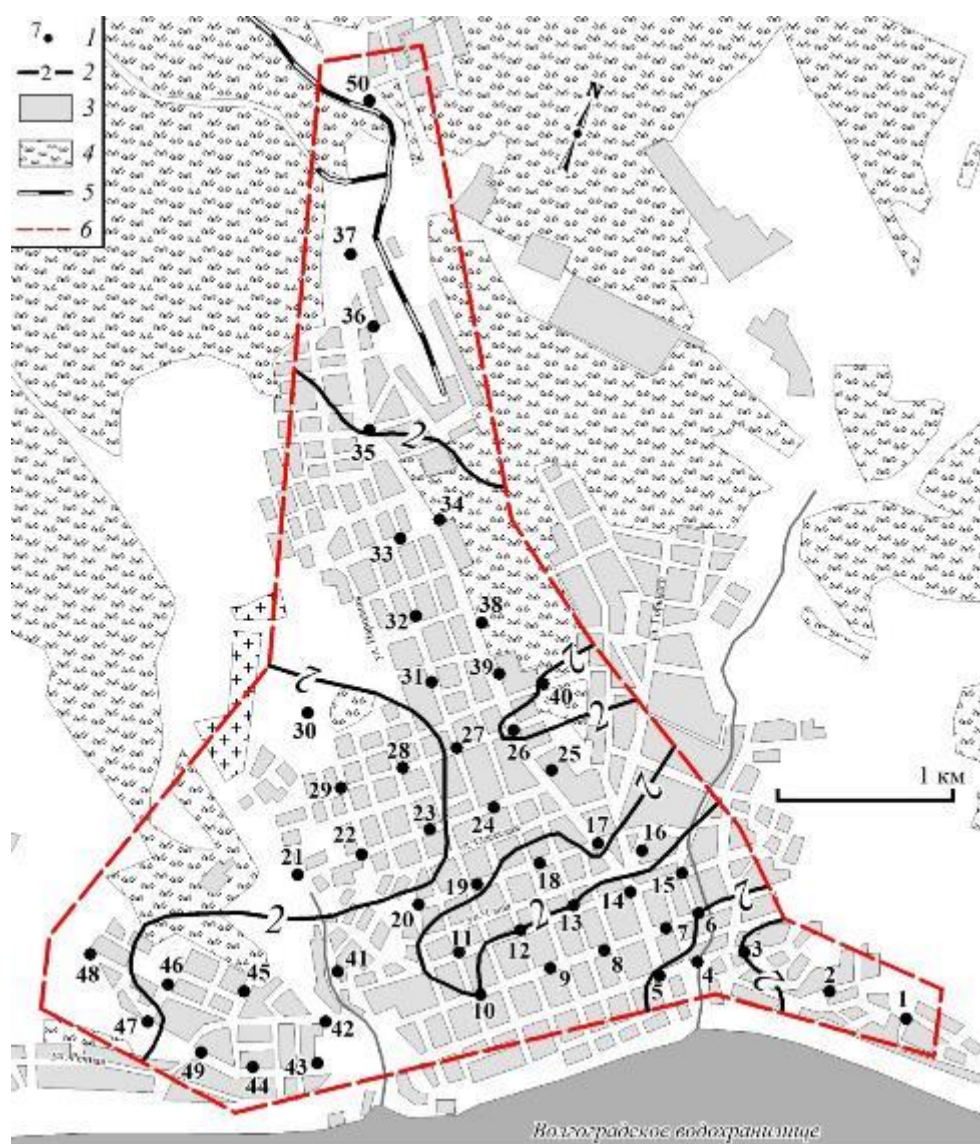


Рисунок 3.38 – Схема распределения органического вещества (гумуса) в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания органического вещества (гумуса), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Согласно классификации почв по содержанию органического вещества (гумуса), почвы с содержанием органического вещества (гумуса) от 0 до 2% относятся к группе почв с очень низким содержанием органического вещества (гумуса), а почвы с содержанием от 2,1 до 4,0% – к группе с низким содержанием органического вещества (гумуса).

В центральной части города Вольска содержание органического вещества менее 2%, что позволяет отнести эти почвы к категории с очень низким

содержанием. В остальных пробах содержание органического вещества составляет 2,1–2,34%, соответственно, почвы относятся к категории почв с низким содержанием органического вещества. Среднеарифметическое содержание органического вещества в почвах Вольска составляет 1,88%, а в пределах фонового участка содержание органического вещества составляет 2,25%, что фиксирует снижение плодородия городских почв по сравнению с фоновыми.

Снижение содержания органического вещества (гумуса) в почвах Вольска связано с нахождением в зоне активного антропогенного воздействия и загрязнением различными токсикантами (тяжелые металлы и нефтепродукты), что может приводить к уменьшению плодородия.

В почвах города Вольска распределение нефтепродуктов в почвах фиксирует следующую ситуацию: содержание нефтепродуктов колеблется от 80 до 11 420 мг/кг; со среднеарифметическим значением – 1952 мг/кг, при ОДК 1000 мг/кг. Результаты использованы для построения схемы пространственного распределения нефтепродуктов в почвах города Вольска (рисунок 3.39).

Практически на всей территории города Вольска выделяется обширная площадная аномальная зона загрязнения почв нефтепродуктами. В структуре единого эколого-геохимического поля выделяется три зоны со значениями содержания нефтепродуктов выше 5000 мг/кг. Первое ядро зафиксировано по площадке опробования № 40, второе – по площадке опробования № 48 и третье – по площадке опробования № 50. Первое и второе ядра привязаны к жилым районам города Вольска без активного движения автотранспорта и, скорее всего, связаны с локальным антропогенным загрязнением. Третье ядро расположено в месте пересечения автомобильной трассы с интенсивным уровнем движения и железнодорожного полотна, с чем и связано его происхождение.

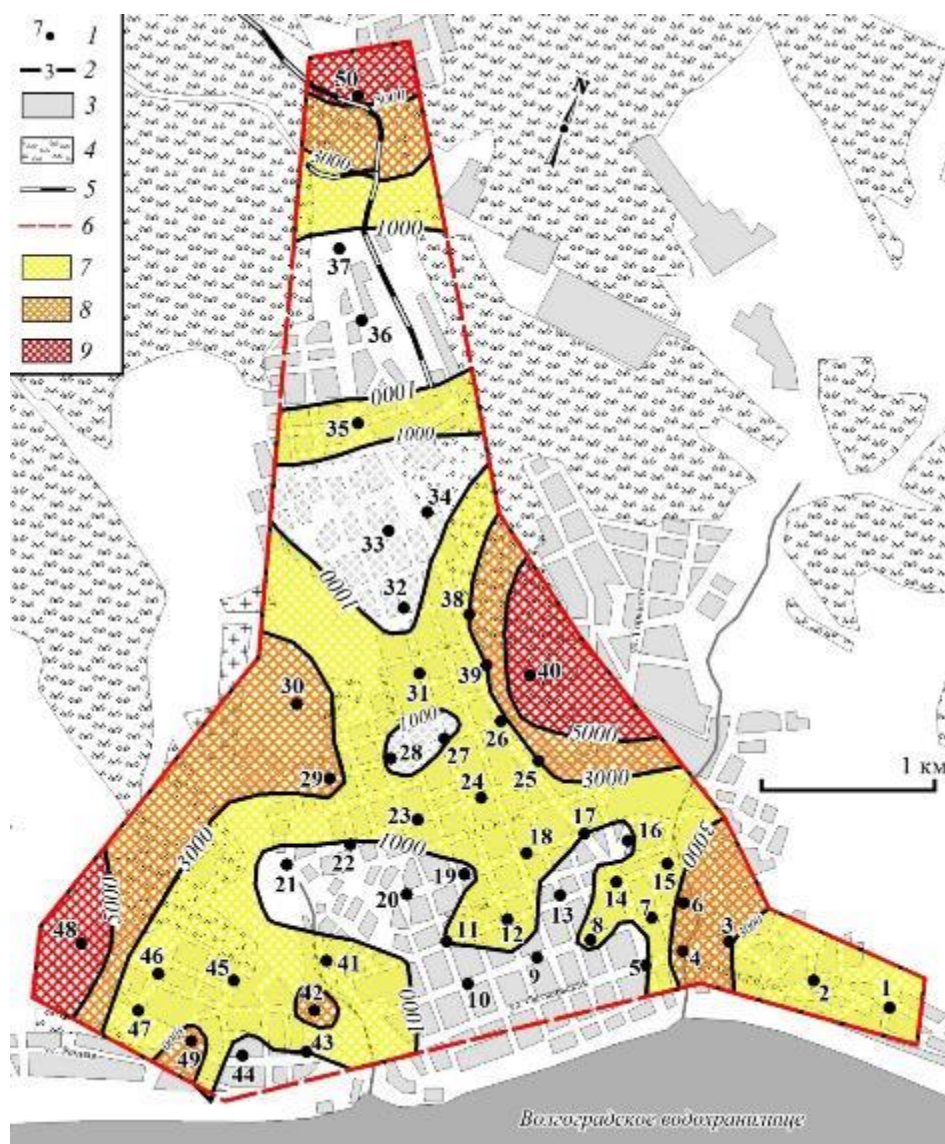


Рисунок 3.39 – Схема распределения нефтепродуктов в почвах города Вольска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания нефтепродуктов, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; содержание нефтепродуктов: 7 – 1000–3000 мг/кг, 8 – 3000–5000 мг/кг, 9 – свыше 5000 мг/кг

В результате проведенных исследований по сравнению с фоновыми показателями в почвах города Вольска установлено снижение содержания органического вещества, то есть потеря плодородия, а также рост содержания нефтепродуктов до значений, превышающих нормативные показатели, что свидетельствует о неблагоприятном эколого-геохимическом состоянии почвенного покрова по данным критериям.

3.2.2 Органическое вещество и нефтепродукты в почвах города Петровска

Органическое вещество почвы (гумус) определялся во всех 33 пробах. Содержание органического вещества изменяется от 0,73% до 2,37%, при среднем значении 1,95% [26]. Результаты исследований положены в основу построения схемы распределения органического вещества (рисунок 3.40).

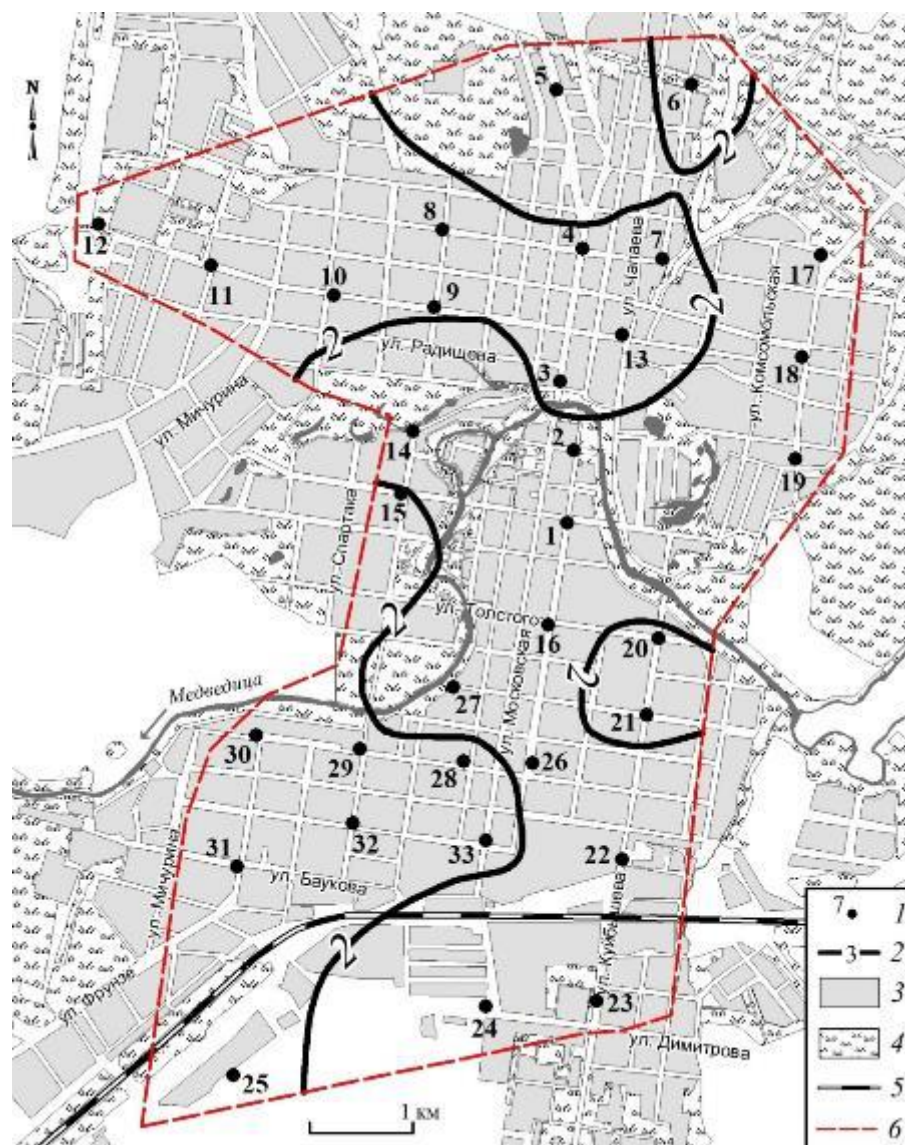


Рисунок 3.40 – Схема распределения органического вещества (гумуса) в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания органического вещества (гумуса), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона

Почвенный покров на территории Петровска по содержанию гумуса делится на две практически равные части. В западной части города в 17 образцах содержание органического вещества превышает 2%, т.е. обнаружено низкое содержание. В восточной части в 13 пробах содержание гумуса менее 2%, что соответствует очень низкому содержанию. Низкий уровень содержания органического вещества в почвах города Петровска связан антропогенной нагрузкой.

Во всех пробах определена массовое содержание нефтепродуктов (рисунок 3.41). В почвах города Петровска содержание нефтепродуктов варьирует в диапазоне 100-9360 мг/кг; со среднеарифметическим значением в 2304 мг/кг, ОДК – 1000 мг/кг.

На территории Петровска выделяется обширная площадная аномальная зона загрязнения почв нефтепродуктами. Зона превышения ОДК по нефтепродуктам расположена в центральной, восточной и южной частях города, имеет непрерывное распространение и три ядра с превышениями ОДК выше 5 раз. Первое ядро зафиксировано в восточной части города по площадке опробования № 18. Второе ядро выявлено по двум площадкам опробования (№№ 1 и 16) в центральной части города. Третье ядро расположено в южной части города и зафиксировано по четырем точкам опробования №№ 22, 24, 32 и 33. Приуроченность зон аномально высоких значений содержания нефтепродуктов к центральной и южной частям города с интенсивным автомобильным движением и к железнодорожному полотну указывает, что основным источником поступления нефтепродуктов в почвы является транспорт.

Для почв города Петровска установлено снижение содержания органического вещества, что приводит к потере плодородия. Обнаружен рост содержания нефтепродуктов до значений, превышающих нормативные показатели, что свидетельствует о неблагоприятном эколого-геохимическом состоянии почвенного покрова.

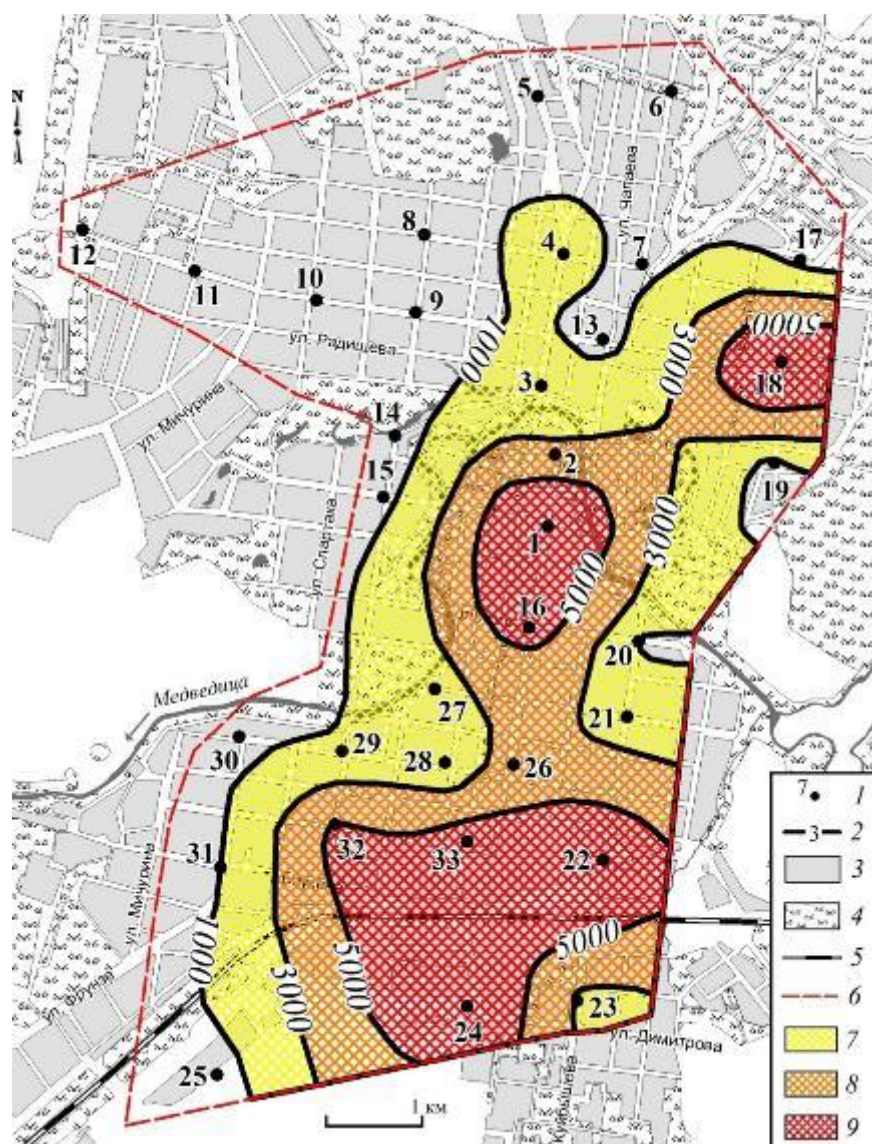


Рисунок 3.41 – Схема распределения нефтепродуктов в почвах на территории города Петровска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания нефтепродуктов, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; содержание нефтепродуктов: 7 – 1000–3000 мг/кг, 8 – 3000–5000 мг/кг, 9 – свыше 5000 мг/кг

3.2.3 Органическое вещество и нефтепродукты в почвах города Хвалынска

Органическое вещество почвы (гумус) определено во всех 33 пробах. Содержание органического вещества изменяется от 0,73% до 2,37%, при среднем

значении 1,95% [64]. Результаты отражены на схеме распределения органического вещества (рисунк 3.42).

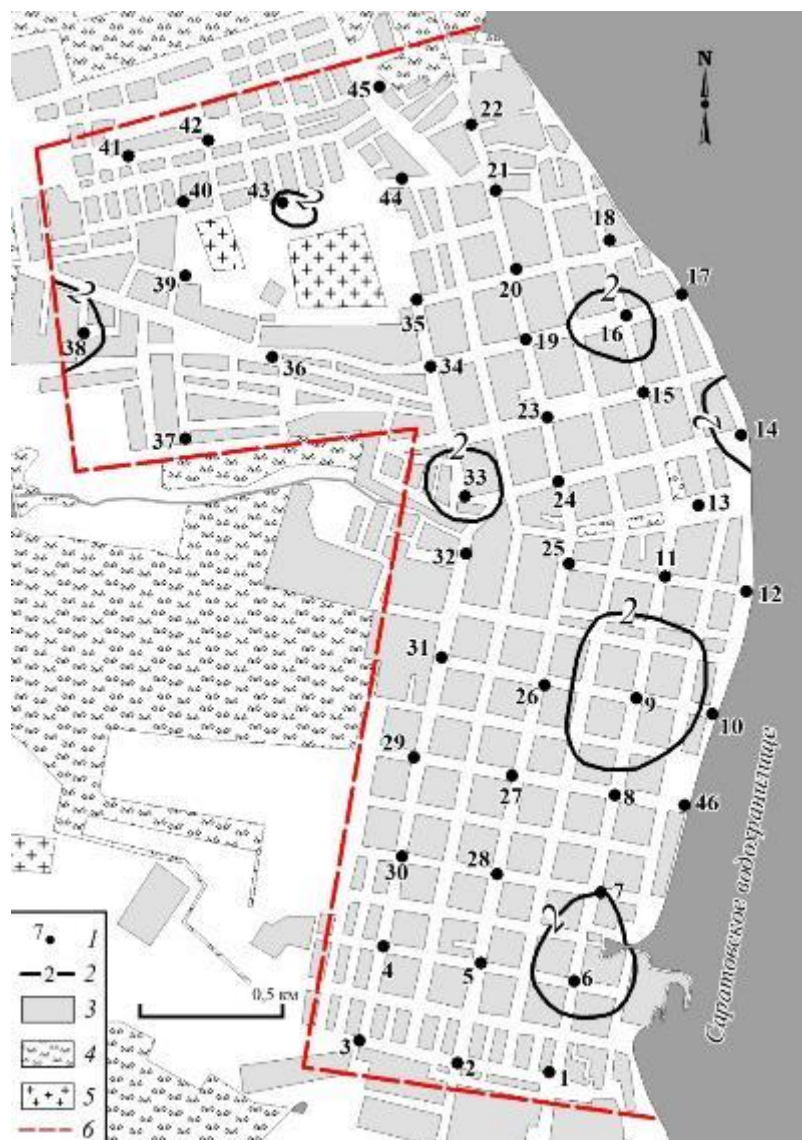


Рисунок 3.42 – Схема распределения органического вещества (гумуса) в почвах на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания органического вещества (гумуса), 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона

На большей части территории города Хвалынска содержание органического вещества в почвенном покрове изменяется в пределах 2,1–4,0%, что позволяет отнести почвы к категории с низким содержанием органического вещества. Среднее содержание органического вещества в почвах города составляет 1,95%,

на фоновом участке – 2,25%. Отсюда следует, что на территории Хвалынска происходит уменьшение содержания органического вещества, что связано с антропогенным воздействием на почвы – загрязнением тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

Во всех пробах определена массовая концентрация нефтепродуктов. В почвах города Хвалынска содержание нефтепродуктов задокументировано в интервале 20-8020 мг/кг; со среднеарифметической концентрацией 991,3 мг/кг, ОДК – 1000 мг/кг. Результаты использованы для построения схемы пространственного распределения нефтепродуктов (рисунок 3.43).

На территории Хвалынска сформирована единая эколого-геохимическая аномалия, содержание нефтепродуктов внутри которой превышает ориентировочно допустимую концентрацию. Площадная аномалия задокументирована по площадкам опробования №№ 8, 10, 13, 15, 17, 23–27 с максимальным значением содержания нефтепродуктов на площадке опробования № 11 (8020 мг/кг). Данная аномалия приурочена к центральной части города, вытянута вдоль городских улиц, по которым происходит основное движение автомобильного транспорта. С расположением транспортной инфраструктуры связывается происхождение аномалии. Точечная аномалия зафиксирована в северной части города по площадке опробования № 45 (2480 мг/кг) и имеет, вероятно, локальное антропогенное бытовое происхождение.

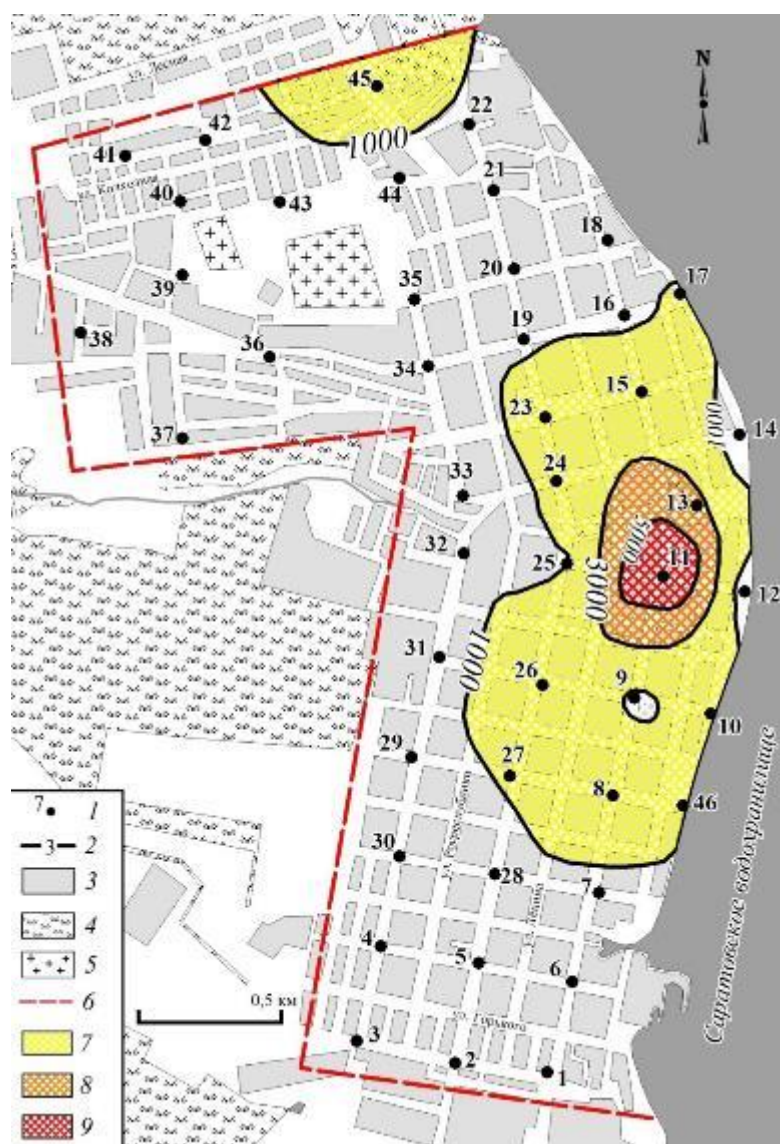


Рисунок 3.43 – Схема распределения нефтепродуктов в почвах на территории города Хвалынска (составлено автором): Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии содержания нефтепродуктов, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; содержание нефтепродуктов: 7 – 1000–3000 мг/кг, 8 – 3000–5000 мг/кг, 9 – свыше 5000 мг/кг

В почвах Петровска установлено снижение содержания органического вещества и рост содержания нефтепродуктов до значений, превышающих нормативные показатели, что свидетельствует о неблагоприятном эколого-геохимическом состоянии почвенного покрова по данным показателям.

По результатам определения содержания органического вещества и нефтепродуктов для территории исследуемых городов установлено два основных процесса, связанных с распределением соединений углерода.

Первый процесс – снижение содержания органического вещества в почвах урбанизированных территорий по сравнению с их фоновыми аналогами. Это явление отмечается во многих городах и обусловлено рядом негативных процессов в почвенном покрове, среди которых важную роль играют загрязнение почв различными поллютантами, уплотнение почв в пределах населенных пунктов и некоторые другие. Почвенный покров исследуемых городов требует внимания со стороны природоохранных служб с целью восстановления агрохимических свойств.

Второй процесс – рост содержания нефтепродуктов в почвах на территориях исследуемых городов вплоть до превышающих нормативные значения. Подобный процесс отмечается для большинства урбанизированных территории связан с увеличением числа автомобильного транспорта в городах. Помимо непосредственно нефтепродуктов, в почву поступает ряд других специфических загрязнителей органического происхождения. Таким образом, нефтепродукты и продукты их сгорания становятся одними из приоритетных загрязнителей в почвах населенных пунктов и требуют особого контроля со стороны природоохранных служб.

ГЛАВА 4 ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДУЕМЫХ ПОЧВ

4.1 Петромагнитные свойства почв, исследуемых урбанизированных территории

Во всех отобранных пробах почв, проводилось измерение ряда петромагнитных характеристик, к которым относится магнитная восприимчивость, измеренная на низкой (976 Гц) (χ_{lf}) и высокой частотах (3904 Гц) (χ_{hf}), расчетные величины частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}) и коэффициента магнитности (K_{mag}), а также термомагнитный коэффициент ($d\chi$), отражающий прирост магнитной восприимчивости после нагрева образца почв. В данном разделе диссертационной работы приводятся результаты петромагнитных исследований почвенного покрова на исследуемых урбанизированных территориях.

4.1.1 Петромагнитные свойства почв города Вольск.

Основные данные по измерению магнитных свойств почв, отобранных на территории города Вольск представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований петромагнитных свойств почв г. Вольск и фонового участка

Магнитные свойства	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Эксцесс	Асимметрия
Почвы города Вольск							
χ_{lf} (10^{-7} м ³ /кг)	1,30	29,6	6,16	5,02	0,81	16,04	3,83
χ_{hf} (10^{-7} м ³ /кг)	1,25	29,0	5,99	4,97	0,83	16,17	3,86
χ_{fd} (%)	0,03	9,85	3,28	2,09	0,64	1,39	1,03
χ_{lft} (10^{-7} м ³ /кг)	1,64	39,6	12,9	8,63	0,67	1,51	1,32
χ_{hft} (10^{-7} м ³ /кг)	1,55	39,2	12,3	8,26	0,67	1,73	1,35

$\text{м}^3/\text{кг}$							
$\chi_{fdt} (\%)$	0,03	10,2	4,15	2,19	0,53	-0,20	0,18
Почвы фонового участка							
$\chi_{lf} (10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг})$	4.53	5.0	4.79	0.15	0.03	-0.46	-0.61
$\chi_{hf} (10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг})$	4.22	4.65	4.46	0.14	0.03	-0.45	-0.63
$\chi_{fd} (\%)$	6.9	7.08	6.99	0.07	0.93	-1.70	-0.10
$\chi_{lft} (10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг})$	4,53	5,00	4,79	15,3	0,03	-0,46	-0,61
$\chi_{hft} (10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг})$	4,22	4,65	4,46	14,1	0,03	-0,45	-0,63
$\chi_{fdt} (\%)$	6,9	7,08	6,99	0,07	0,01	-1,70	-0,10

В таблице 4.1 показаны данные петромагнитных измерений в образцах почв, отобранных на территории города Вольск и на фоновом участке, до и после нагрева. Ниже приводится детальное описание полученных результатов.

Удельная магнитная восприимчивость на низкой частоте 976 Гц (χ_{lf}) варьирует в интервале от $1,30 \times 10^{-7}$ до $29,6 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$, со среднеарифметическим значением $6,16 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рисунок 4.1). Удельная магнитная восприимчивость на высокой частоте 3904 Гц (χ_{hf}) изменяется в интервале от $1,25 \times 10^{-7}$ до $29,0 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$, со среднеарифметическим значением $5,99 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$, вследствие того, что χ_{lf} и χ_{hf} , параметры близкие по значению схемы распределения χ_{hf} не строились. Значения частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}) варьирует в интервале 0,03-9,85 % со среднеарифметическим значением 3,28 % (рисунок 4.2).

В пределах фонового участка распределение исследуемых параметров заметно отличается от распределения в пределах городской территории. χ_{lf} изменяется от $4,53 \times 10^{-7}$ до $5,0 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$ со среднеарифметическим значением $4,79 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. χ_{hf} колеблется в промежутке от $4,22 \times 10^{-7}$ до $4,65 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$, со среднеарифметическим значением $4,46 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. χ_{fd} колеблется в промежутке от 6,9 до 7,08 % со среднеарифметическим значением 6,99 % [63].

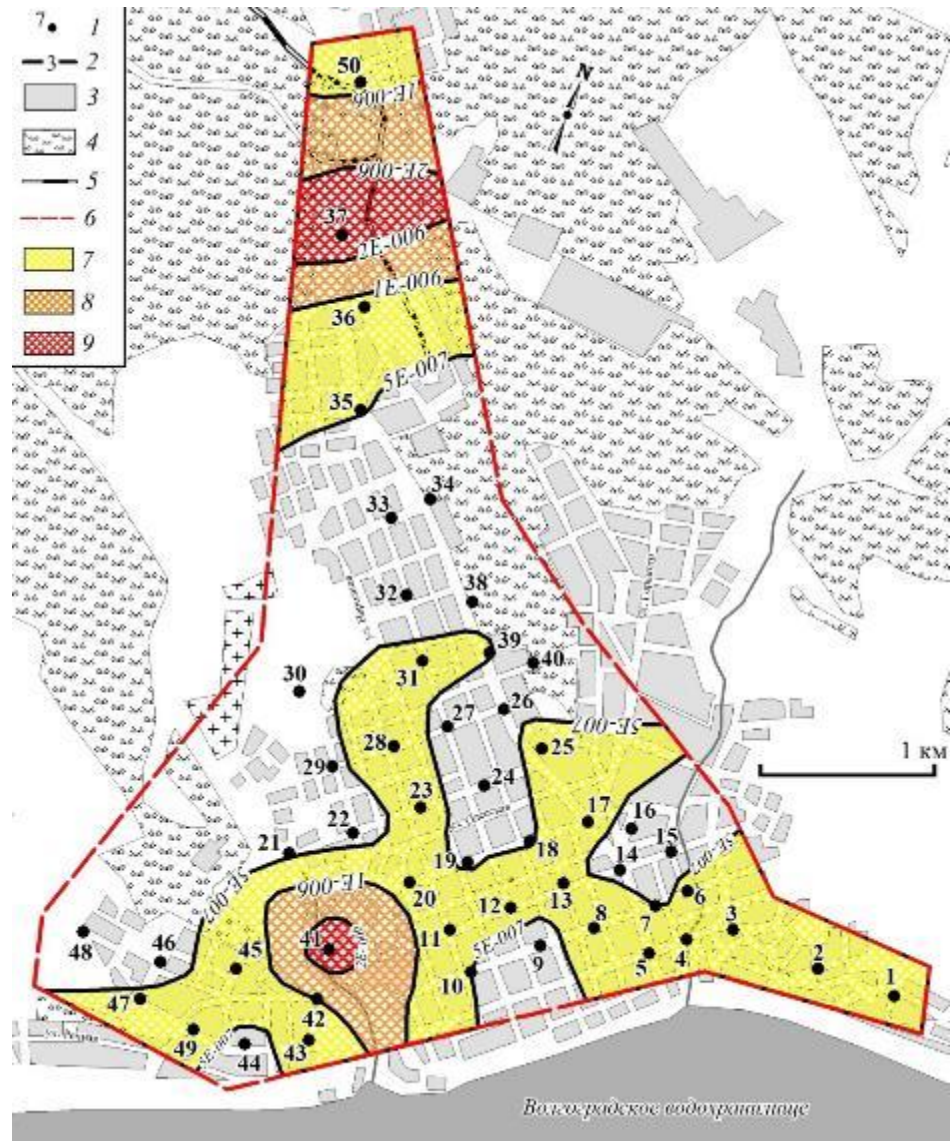


Рисунок 4.1 – Распределение магнитной восприимчивости на низкой частоте 976 Гц (χ_{lf}) в почвах города Вольска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{lf} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{lf} ($n \times 10^{-m}$ м³/кг): не закрашены участки с χ_{lf} менее 5×10^{-7} м³/кг; 7 – 5×10^{-7} – 1×10^{-6} м³/кг; 8 – 1×10^{-6} – 2×10^{-6} м³/кг; 9 – свыше 2×10^{-6} м³/кг.

Из рисунка 4.1 видно, что повышенные значения χ_{lf} отмечаются на площадках опробования №№ 37 и 41, это указывает на высокое содержание в почвах магнитных минералов техногенного происхождения. Наиболее показательное поступление магнитных минералов в почвы городов отражается

через распределение частотной зависимости магнитной восприимчивости (рисунок 4.2) и коэффициент магнитности (рисунок 4.3).

В почвах города Вольска при сравнении с фоновыми показателями установлено увеличение средних значений χ_{lf} и χ_{hf} и их высокие колебания, а средние значения χ_{fd} значительно падают. Увеличение χ_{lf} и χ_{hf} обусловлено поступлением в почву сильномагнитных минералов железа промышленного генезиса, а уменьшение средних значений χ_{fd} обусловлено преобладанием крупных многодоменных минералов, а также с нарушением в почвах биохимических процессов, участвующих в синтезе суперпарамагнитных частиц.

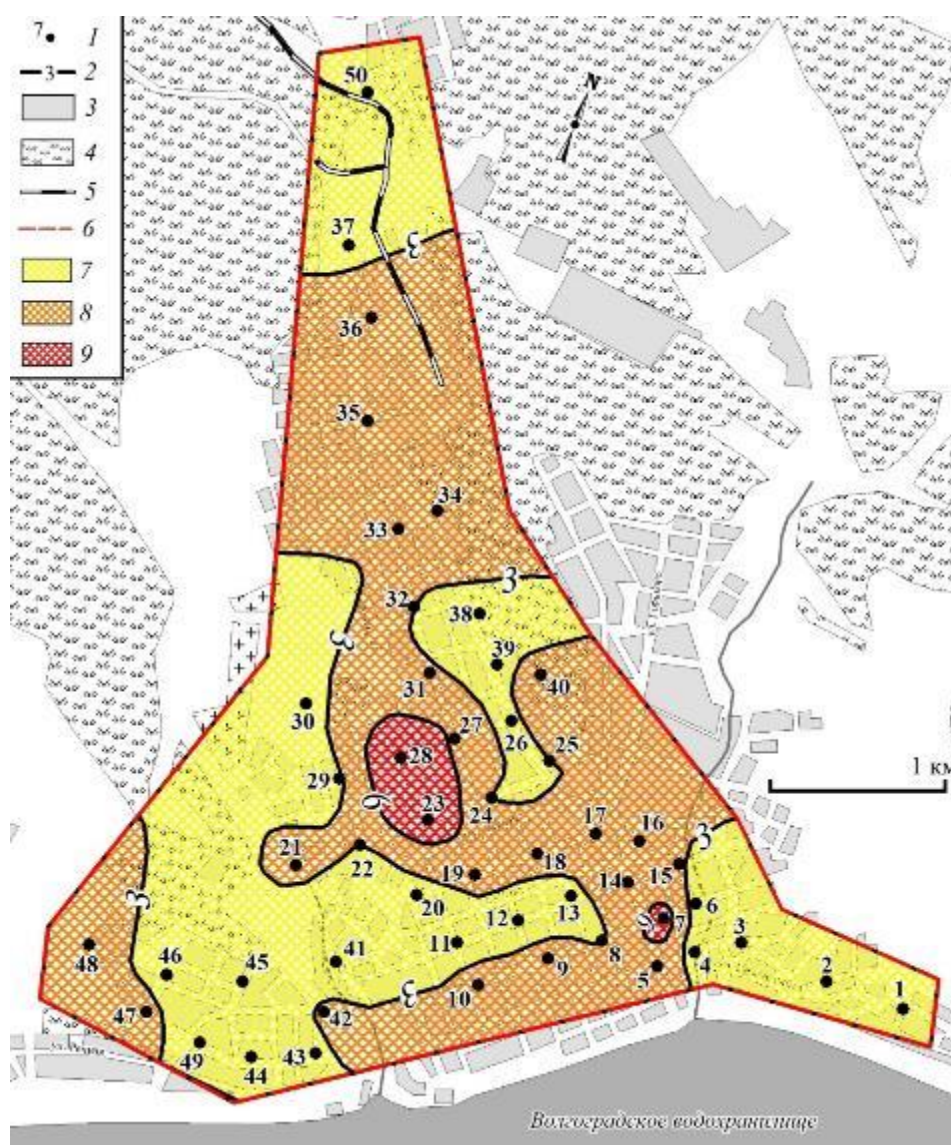


Рисунок 4.2 – Схема распределения частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}) в почвах города Вольска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{fd} , 3 –

застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{fd} : 7 – менее 3 ед., 8 – 3–6 ед., 9 – свыше 6 ед.

На рисунке 4.2 видно, что на большей части города Вольска значения χ_{fd} изменяются от 0 до 6%, что ниже чем на фоновых участках. Это свидетельствует о том, что в почвах города Вольск нарушается баланс между однодоменными и суперпарамагнитными минералами, скорее всего, вследствие разрушения последних, в результате негативных техногенных процессов (уплотнение почвы, загрязнение токсикантами, снижение микробиологической активности). Таким образом, распределение параметра χ_{fd} , а именно, отклонение его от фоновых значений, отражает степень техногенной трансформации почвенного покрова Вольска.

Значительные колебания статистических параметров в почвах города Вольск в сравнение с их распределением на фоновом участке является диагностическим признаком техногенной трансформации почв населенных пунктов.

В пределах исследуемой территории значения коэффициента магнитности изменялись от 0,64 до 7,82 единиц при среднем значении 2,39. Таким образом, было установлено, что в 6 пробах (12%) степень техногенной трансформации допустимая, в 32 пробах (64%) – умеренная, в 9 пробах (18%) – опасная и в 3 пробах (6%) – чрезвычайно опасная. Это свидетельствует о том, что почвы города Вольска испытывают на себе активную техногенную трансформацию. Наибольшее техногенной преобразование почв, по результатам петромагнитных измерений отмечается на площадках опробования №№ 37 и 41, которые приурочены к пустырям вблизи объектов техногенного воздействия.

В процессе выполнения диссертационных исследований, отобранные почвенные образцы подвергались температурному воздействию (нагревались до 500 градусов по Цельсию) с целью вызова фазового перехода немагнитных минералов в магнитные для оценки их качественного содержания. Синтез немагнитных минералов железа в почве может быть обусловлен как

геологическим, так и биогеохимическими особенностями почв, а также их техногенным загрязнением (углеводородными соединениями).

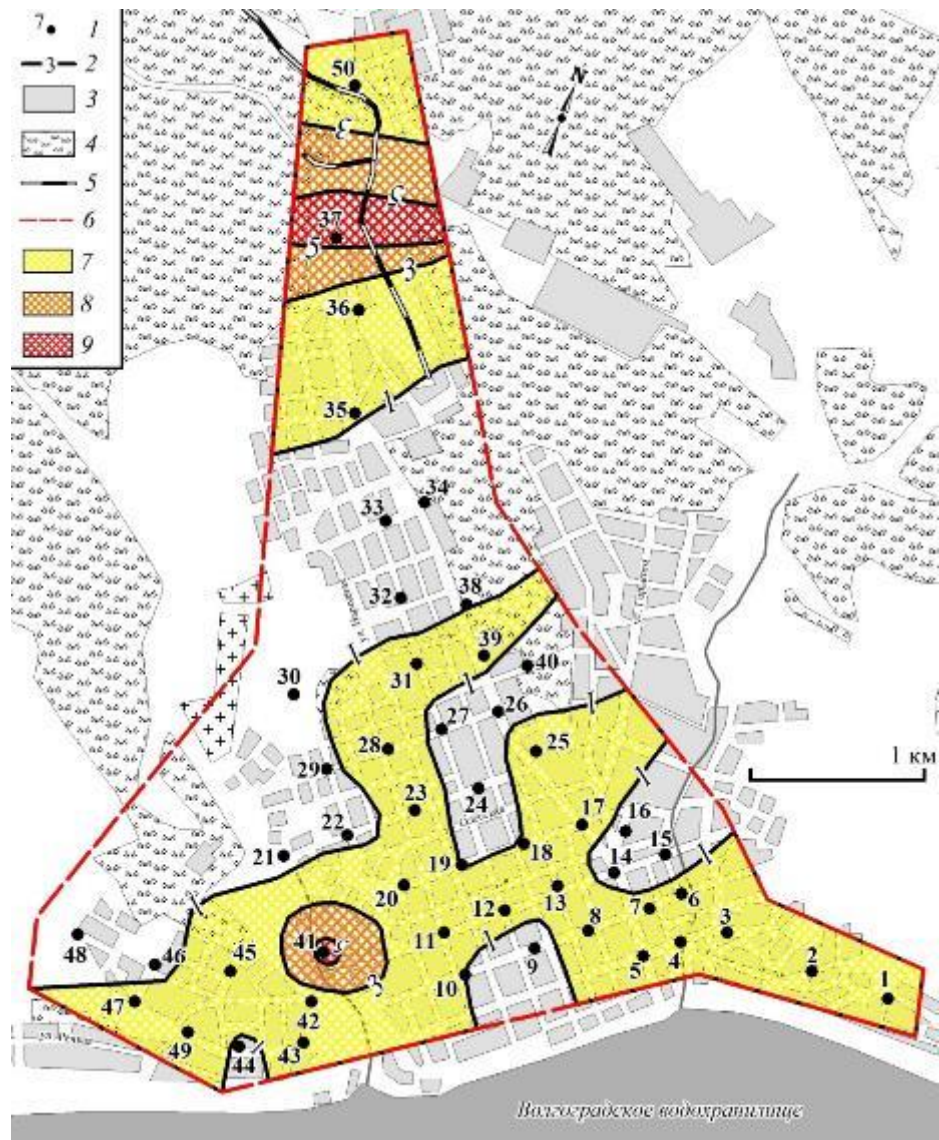


Рисунок 4.3 – Схема распределения коэффициента магнитности (K_{mag}) в почвах города Вольска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_{mag} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_{mag} : не закрашены участки с $K_{mag} < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

При сравнении рисунков распределения удельной магнитной восприимчивости до нагрева и после нагрева (рисунок 4.4), отчетливо наблюдается увеличение абсолютных значений удельной магнитной восприимчивости после нагрева по сравнению со значениями до нагрева.

Особенно отчётливо это различие выражается посредством расчета термомагнитного коэффициента (рисунок 4.5).

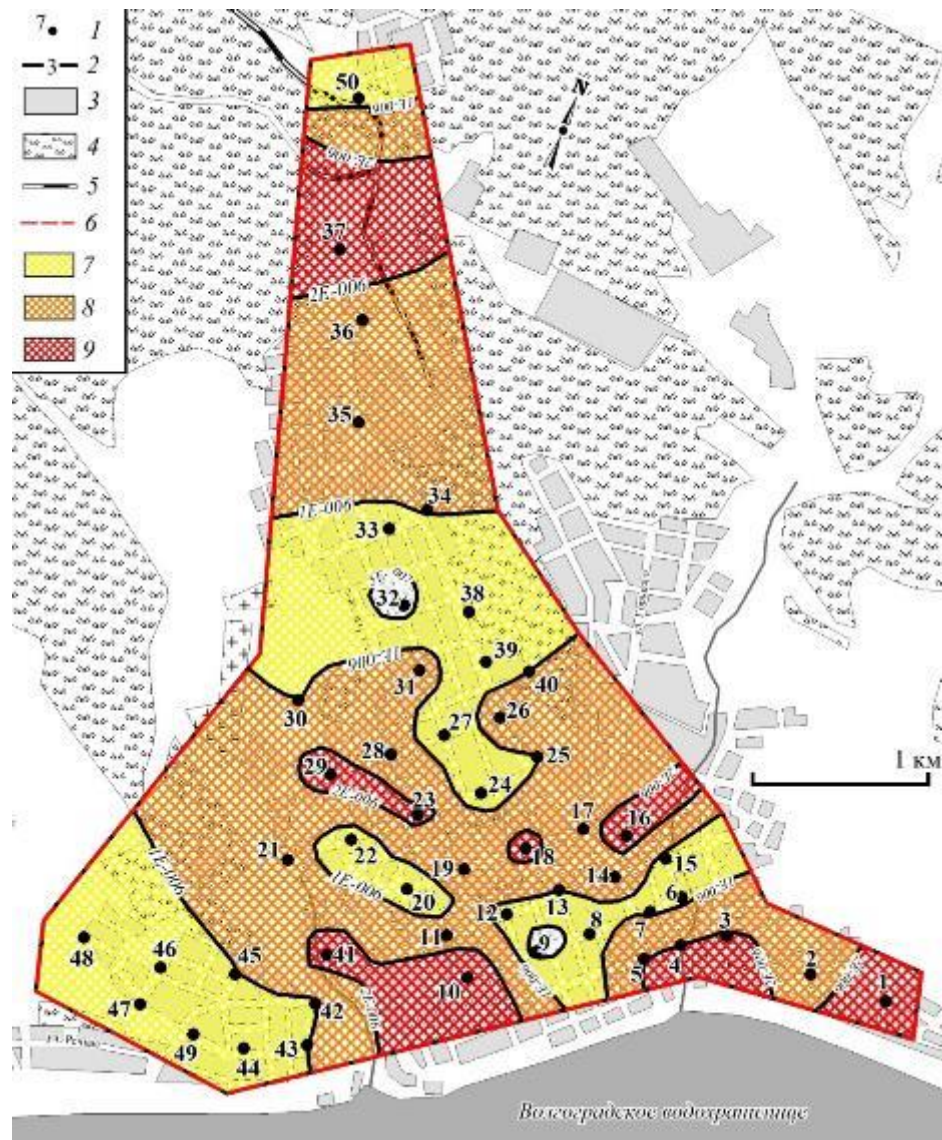


Рисунок 4.4 – Распределение магнитной восприимчивости, измеренной на частоте 976 Гц (χ_{lf}) в почвах города Вольска после нагрева (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{lf} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{lf} ($n \times 10^{-m}$ м³/кг): не закрашены участки с χ_{lf} менее 5×10^{-7} , 7 – $5 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6}$, 8 – $1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6}$, 9 – свыше 2×10^{-6}

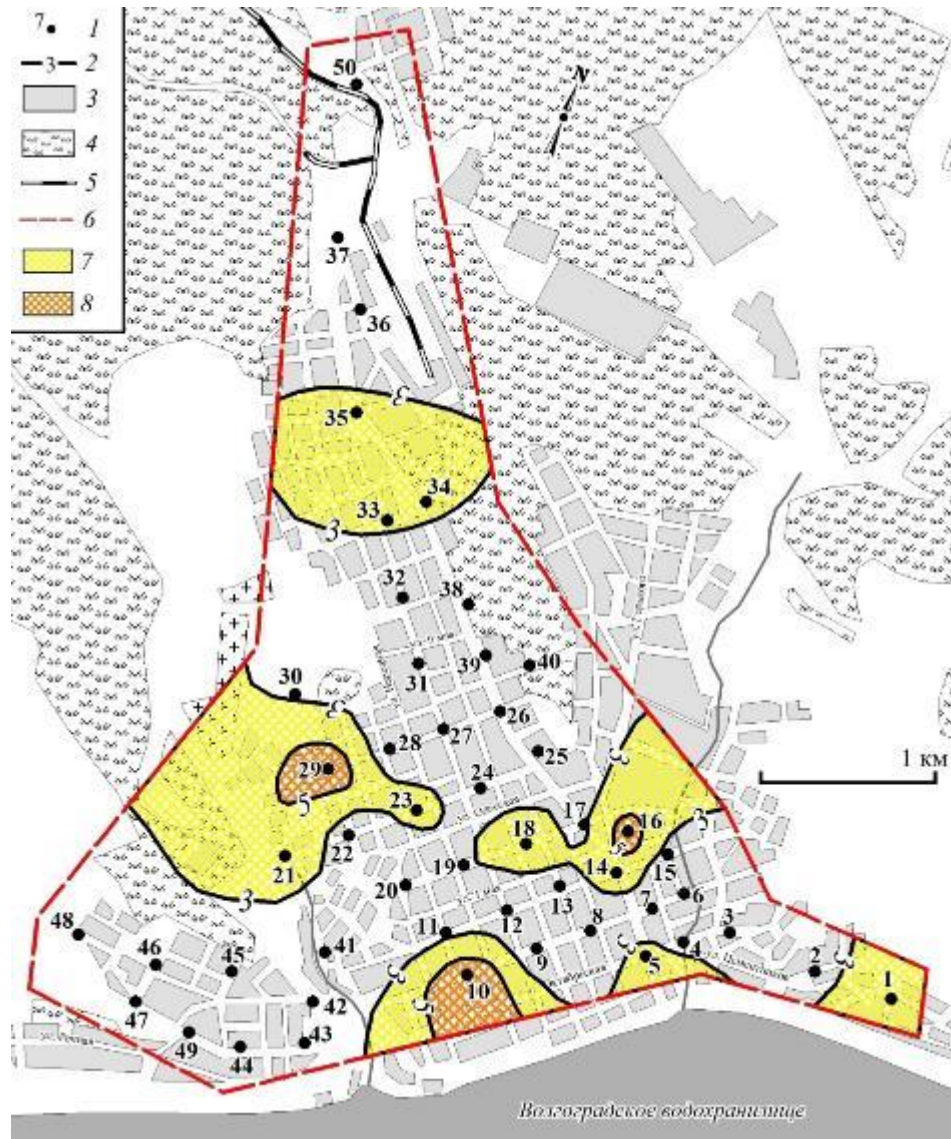


Рисунок 4.5 – Схема распределения термомагнитного коэффициента ($d\chi$) в почвах города Вольска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин $d\chi$, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина $d\chi$: не закрашены участки с $d\chi < 3$ ед., 7 – 3–5 ед., 8 – свыше 5 ед.

Из рисунка 4.5 видно, что зоны повышенных значений термомагнитного коэффициента распределены фрагментарно на территории города, не образуя единого поля. Наиболее высокие значения зафиксированы на площадках опробования №№ 10, 16 и 29. Происхождение термомагнитных аномалий, связано с наличием в почвах минерала пирита, образование которого может быть связано с активизацией биогеохимических процессов.

При нагреве фазовые изменения происходят не только в многодоменных минералах, но и в минералах суперпарамагнитной размерности, об этом свидетельствует изменение значений частотной зависимости магнитной восприимчивости после температурной обработки (рисунок 4.6).

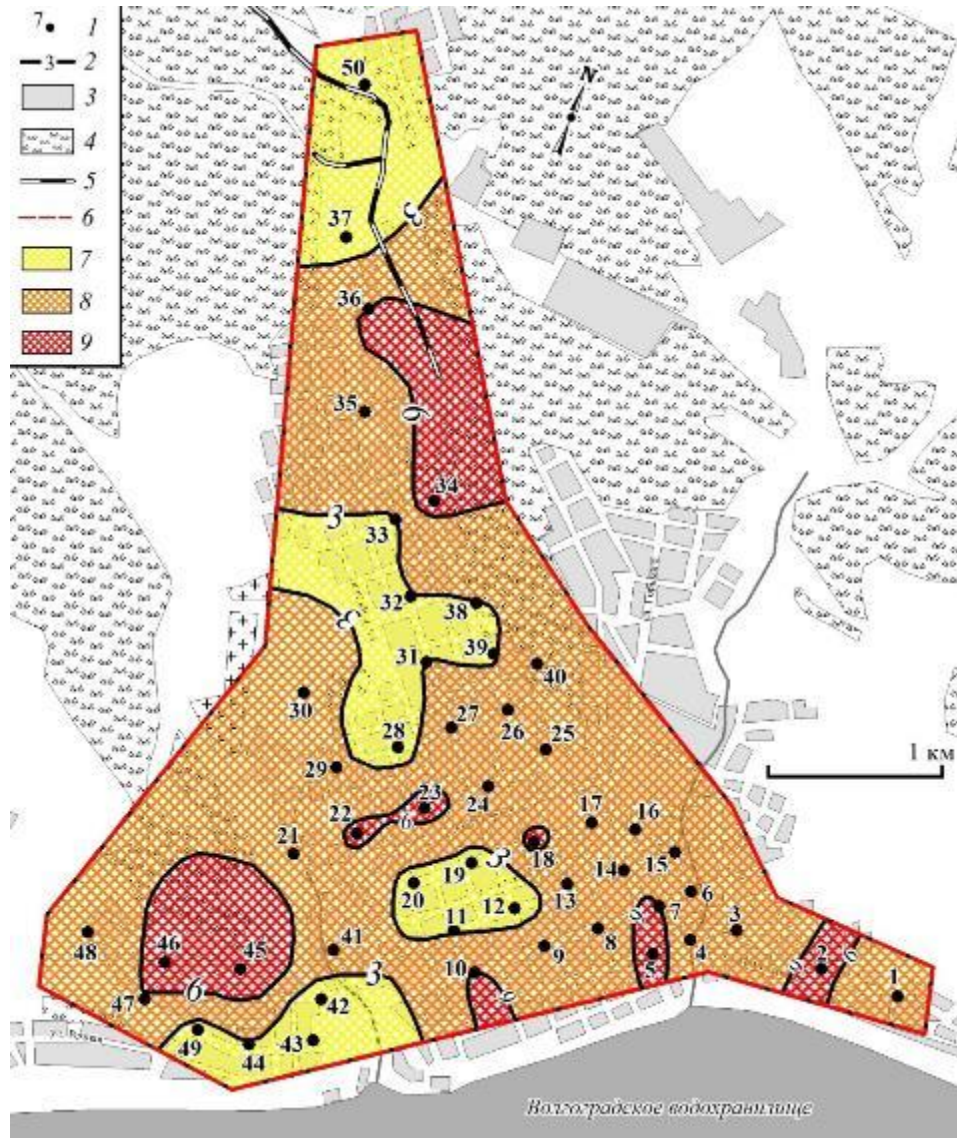


Рисунок 4.6 – Схема распределения частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fdt}) в почвах города Вольска после нагрева (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{fdt} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{fdt} : 7 – менее 3 ед., 8 – 3–6 ед., 9 – свыше 6 ед.

При сравнении схем распределения частотной зависимости магнитной восприимчивости до и после нагрева, отмечается рост значения χ_{fdt}

отражающийся в интенсивности и площади распределения, что обусловлено фазовым преобразованием немагнитных минералов суперпарамагнитной размерности в магнитные.

4.1.2 Петромагнитные свойства почв на территории города Петровск.

Основные данные исследования петромагнитных свойств почв, отобранных на территории города Петровск представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Петромагнитные характеристик почв г. Петровска и фонового участка

Магнитные свойства	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Эксцесс	Асимметрия
Почвы города Петровск							
χ_{lf} (10^{-7} м ³ /кг)	1.23	34.4	6.68	5.8	0.87	16.2	3.7
χ_{hf} (10^{-7} м ³ /кг)	1.15	33.2	6.48	5.7	0.87	15.8	3.6
χ_{fd} (%)	0.24	6.52	3.09	1.7	0.56	-0.6	0.28
χ_{lft} (10^{-7} м ³ /кг)	3.26	45.3	20.7	8,43	0,65	1,52	1,32
χ_{hft} (10^{-7} м ³ /кг)	3.12	42.6	19.7	8,26	0,65	1,74	1,35
χ_{fdt} (%)	1.13	6.94	4.86	2,17	0,51	-0,21	0,18
Почвы фонового участка							
χ_{lf} (10^{-7} м ³ /кг)	4.51	7.28	6.00	0.99	0.16	-1.62	0.01
χ_{hf} (10^{-7} м ³ /кг)	4.24	6.80	5.60	0.92	0.16	-1.63	-0.33
χ_{fd} (%)	6.02	7.11	6.62	0.28	0.04	2.14	-0.64
χ_{lft} (10^{-7} м ³ /кг)	4.75	9.46	7.12	15,3	0,03	-0,46	-0,61
χ_{hft} (10^{-7} м ³ /кг)	4.44	8.83	6.64	14,1	0,03	-0,45	-0,63
χ_{fdt} (%)	6.45	7.32	6.84	0,07	0,01	-1,70	-0,10

В таблице 4.2 представлены петромагнитные данные, измеренные в образцах почв, отобранных на территории города Петровск и на фоновом участке, до и после нагрева. Ниже приводится детальное описание полученных результатов.

χ_{lf} в почвах Петровска колеблется в интервале от $1,23 \times 10^{-7}$ до $34,4 \times 10^{-7}$ м³/кг, со среднеарифметическим значением $6,68 \times 10^{-7}$ м³/кг (рисунок 4.7). χ_{hf} – в диапазоне от $1,15 \times 10^{-7}$ до $33,2 \times 10^{-7}$ м³/кг, со среднеарифметическим значением $6,48 \times 10^{-7}$ м³/кг, по причине того, что χ_{lf} и χ_{hf} , родственные параметры схемы распределения χ_{hf} не строились. χ_{fd} варьирует в интервале от 0,24 до 6,52 % со среднеарифметическим значением 3,09 % (рисунок 4.8).

Повышенные значения χ_{lf} отмечаются на площадках опробования №№ 22, 29, 27 и 31, это указывает на высокое содержание в почвах магнитных минералов, поступление которых обусловлено антропогенному воздействию (бытовое и промышленное загрязнение).

На фоновом участке распределение исследуемых параметров заметно отличается от распределения в пределах городской территории. χ_{lf} варьирует от $4,51 \times 10^{-7}$ до $7,28 \times 10^{-7}$ м³/кг со среднеарифметическим значением $6,00 \times 10^{-7}$ м³/кг. χ_{hf} изменяется в интервале от $4,24 \times 10^{-7}$ до $6,80 \times 10^{-7}$ м³/кг, со среднеарифметическим значением $5,60 \times 10^{-7}$ м³/кг. χ_{fd} колеблется в интервале от 6,02 до 7,11% со среднеарифметическим значением 6,62%.

В почвенном покрове города Петровска при сопоставлении с фоновой территорией установлено увеличение значений χ_{lf} и χ_{hf} и их высокие колебания, а значения χ_{fd} уменьшаются. Увеличение χ_{lf} и χ_{hf} обусловлено поступлением в почву сильномагнитных минералов железа промышленного генезиса, а уменьшение значений χ_{fd} обусловлено преобладанием в почве многодоменных частиц, а также с нарушением в почвах биохимических процессов, участвующих в синтезе суперпарамагнитных частиц.

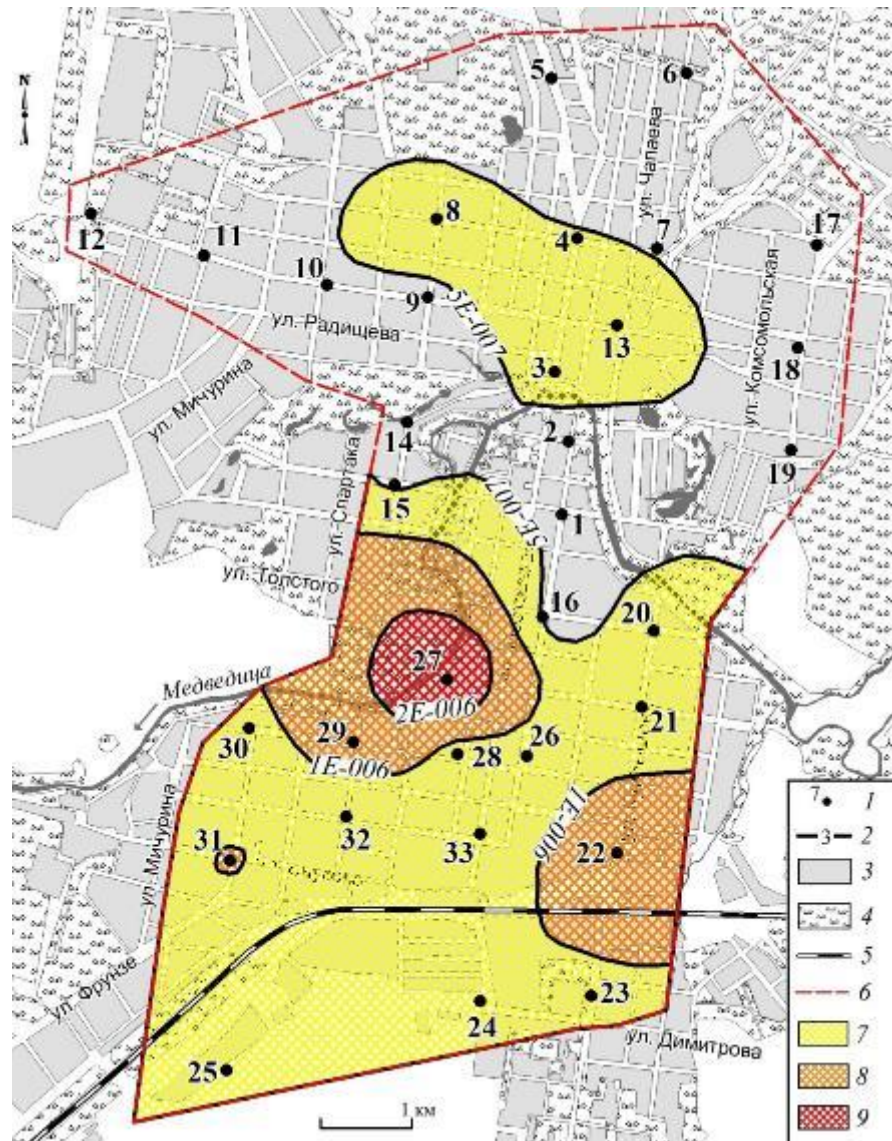


Рисунок 4.7 – Схема распределения магнитной восприимчивости на частоте 976 Гц (χ_{lf}) в почвах города Петровска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{lf} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{lf} ($n \times 10^{-m} \text{ м}^3/\text{кг}$): не закрашены участки с χ_{lf} менее $5 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$, 7 – $5 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$, 8 – $1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$, 9 – свыше $2 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$.

На рисунке 4.8 видно, что на большей части города Петровска значения χ_{lf} изменяются от 1,13 до 6,94%, что ниже чем на фоновых участках. Это свидетельствует о том, что в почвах города Петровск нарушается баланс между однодоменными и суперпарамагнитными минералами, скорее всего, вследствие разрушения последних, в результате негативных техногенных процессов

(уплотнение почвы, загрязнение токсикантами, снижение микробиологической активности). Таким образом, распределение параметра χ_{fd} , а именно, отклонение его от фоновых значений, показывает степень техногенного преобразования почв города Петровска.

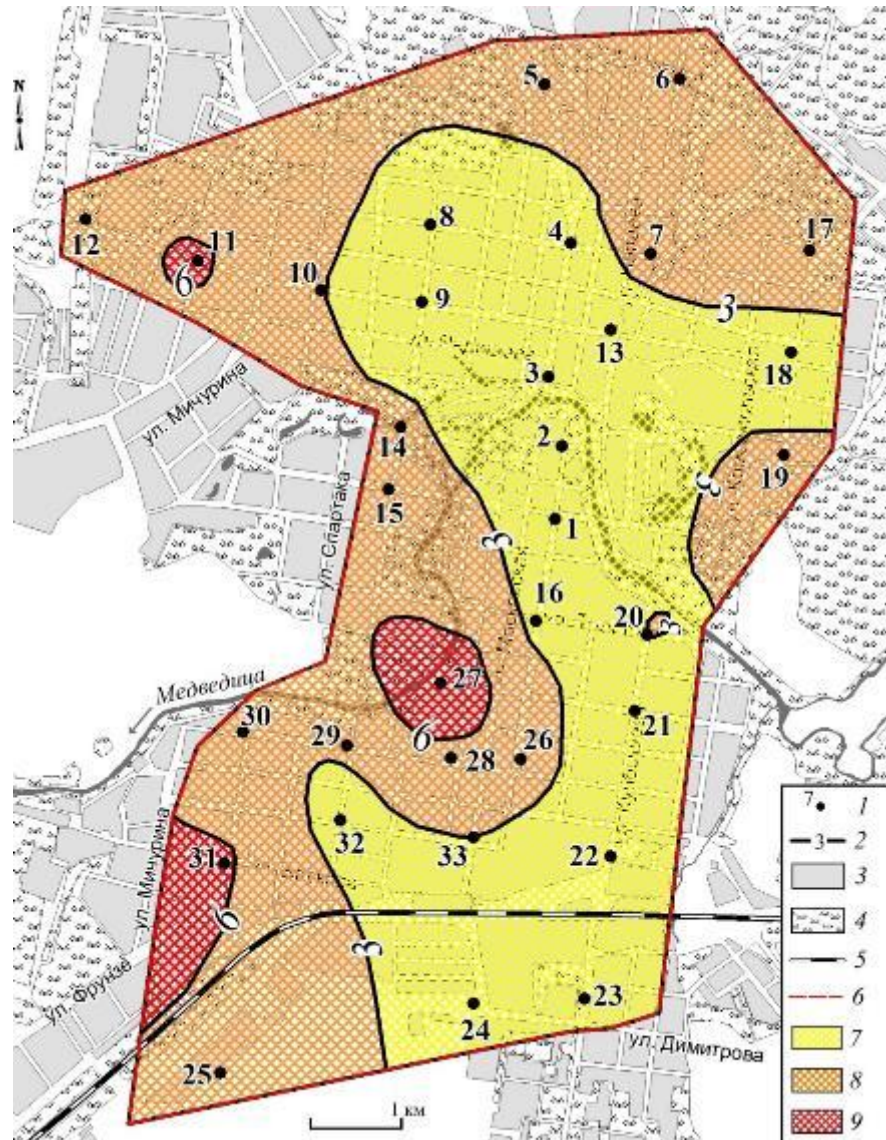


Рисунок 4.8 – Распределение частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}) в почвах города Петровска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{fd} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{fd} : 7 – менее 3 ед., 8 – 3–6 ед., 9 – свыше 6 ед.

Значительные вариации в распределение статистических параметров магнитных свойств городских и фоновых почв является.

Наиболее показательно поступление магнитных минералов в почвы городов отражается через распределение коэффициента магнитности (рисунок 4.9). Представленное распределение коэффициента магнитности свидетельствует о том, что почвы города Петровска испытывают на себе активную техногенную трансформацию. Наибольшее техногенное преобразование почв, по результатам петромагнитных измерений отмечается в южной части города, что, возможно обусловлено интенсивным движением автомобильного и железнодорожного транспорта в этой части города.

Вследствие чего, мы приходим к выводу, что почвы на территории города Петровск по результатам определения коэффициента магнитности делятся на две группы: первая группа – почвы северной части города с невысокими значениями коэффициента магнитности и, соответственно, низким уровнем техногенной трансформации; вторая группа – почвы южной части города с высокими значениями коэффициента магнитности и, соответственно, повышенным уровнем техногенной трансформации.

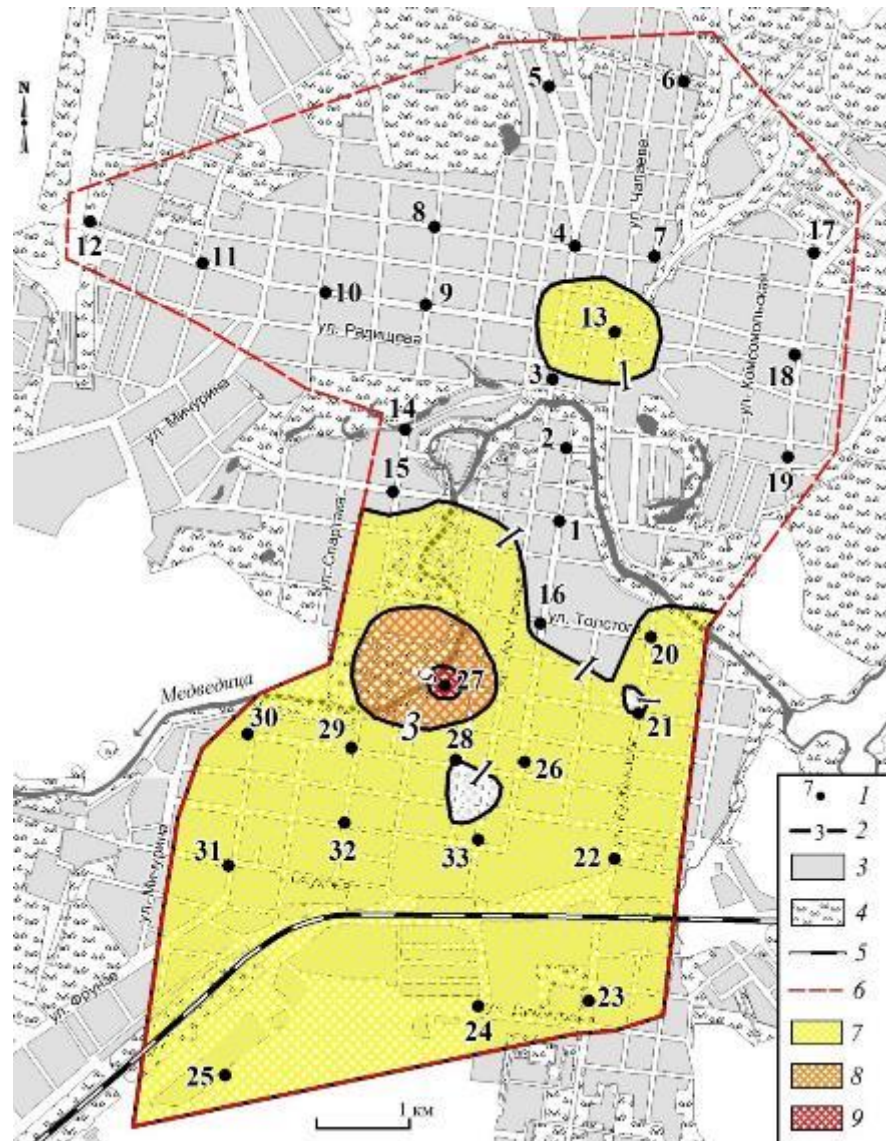


Рисунок 4.9 – Схема распределения коэффициента магнитности (K_{mag}) в почвах города Петровска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_{mag} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина K_{mag} : не закрашены участки с $K_{mag} < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

Как говорилось выше, в процессе выполнения диссертационных исследований, отобранные почвенные образцы подвергались температурному воздействию с целью преобразования слабомагнитных минералов в магнитные для оценки их качественного содержания. Это позволило измерить и рассчитать нам ряд магнитных параметров почвенного покрова. Среди которых значения удельной магнитной восприимчивости после нагрева (рисунок 4.10).

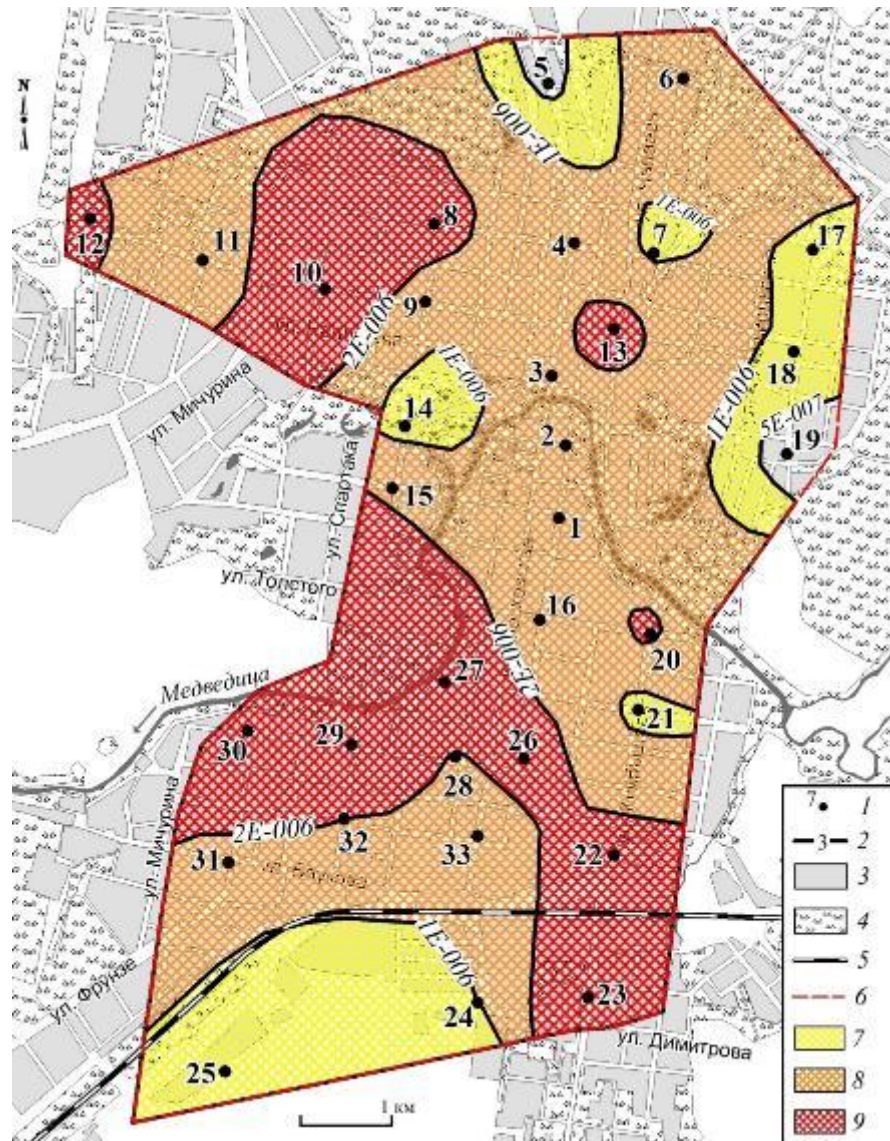


Рисунок 4.10 – Распределение удельной магнитной восприимчивости на частоте 976 Гц (χ_{lf}) в почвах города Петровска после нагрева (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{lf} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{lf} ($n \times 10^{-m}$ м³/кг): не закрашены участки с χ_{lf} менее 5×10^{-7} , 7 – $5 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6}$, 8 – $1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6}$, 9 – свыше 2×10^{-6}

При сравнении схем распределения удельной магнитной восприимчивости до и после нагрева, отмечается картина схожая с ситуацией наблюдаемой в почвах города Волск, а именно наблюдается практически повсеместный рост значений удельной магнитной восприимчивости в образцах после нагрева. Это также свидетельствует о наличии в почвах города Петровска немагнитных минералов,

которые при нагреве переходят в магнитные увеличивая при этом значения магнитной восприимчивости. Наиболее четко этот процесс прослеживается при изучении распределения термомагнитного коэффициента в почвах (рисунок 4.11).

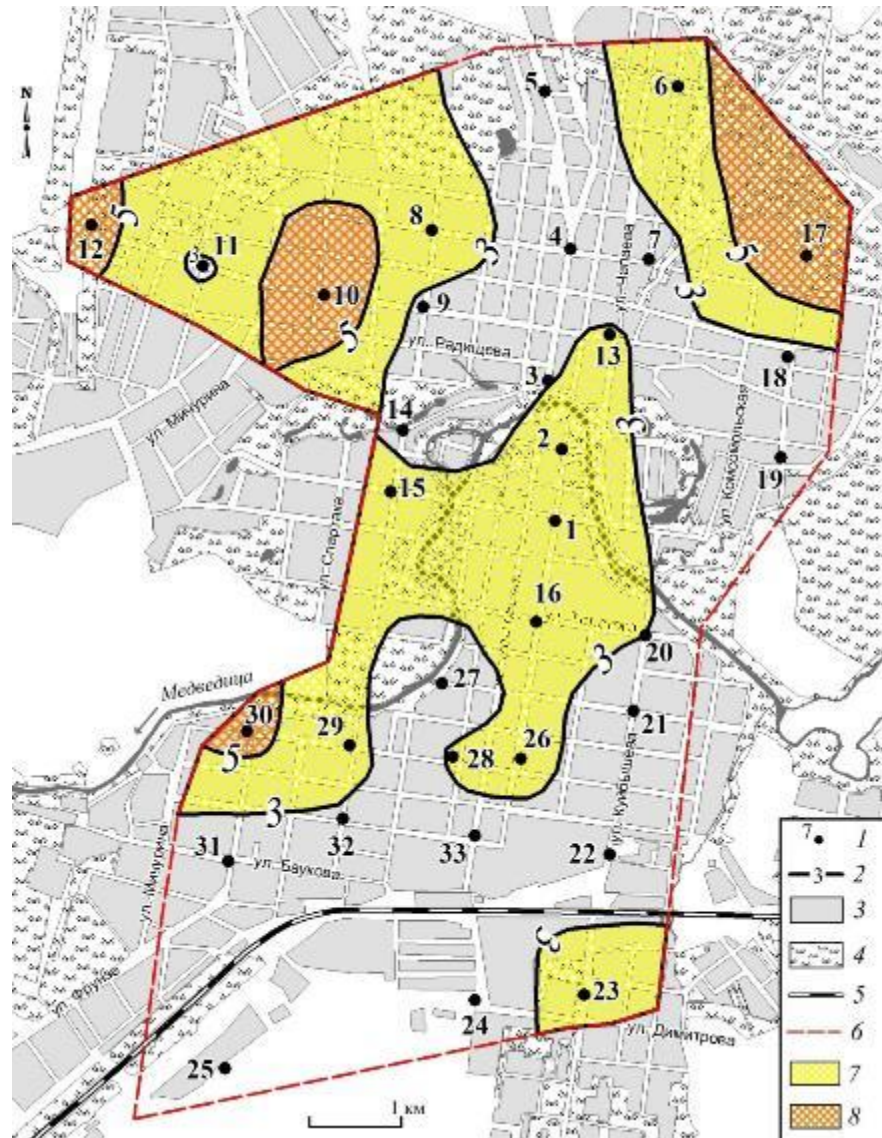


Рисунок 4.11 – Схема распределения термомагнитного коэффициента ($d\chi$) в почвах города Петровска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин $d\chi$, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина $d\chi$: не закрашены участки с $d\chi < 3$ ед., 7 – 3–5 ед., 8 – свыше 5 ед.

Из рисунка 4.11, видно, что термомагнитный коэффициент проявляется в почвах города Петровска не равномерно, в западной и северо-западной части города в почвах формируется практически единое поле повышенных значений

терромагнитного коэффициента с ядрами аномалий (значения свыше 5 единиц) на площадках опробования номер 10, 12 и 30. В северо-восточной части города также формируется аномальная зона с центром в площадке опробования номер 17. Формирование аномалий терромагнитного коэффициента в почвах города Петровска, связано, предположительно, с повышенным содержанием в почвах минерала пирита, генезис которого может быть связан с активным техногенным загрязнением нефтепродуктами, что требует дополнительного изучения. Об этом свидетельствует и поведение χ_{fd} в результате термической обработки (рисунок 4.12).

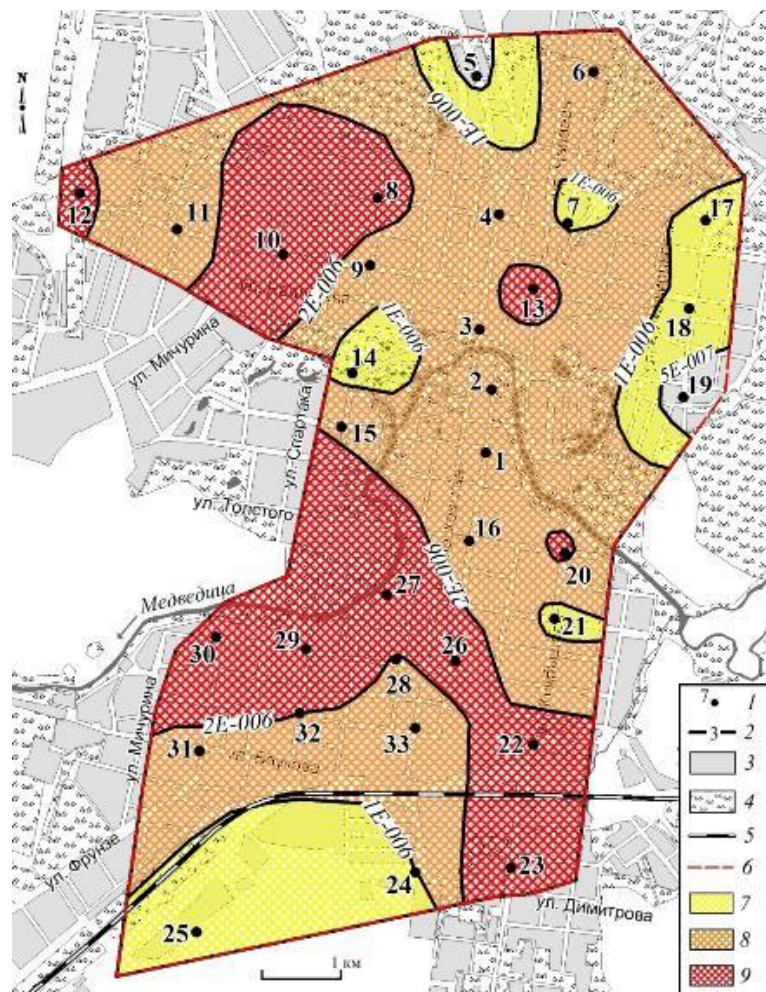


Рисунок 4.12 – Схема распределения частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}) в почвах города Петровска после нагрева (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{fd} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – железная дорога, 6 – граница полигона; величина χ_{fd} : 7 – менее 3 ед., 8 – 3–6 ед., 9 – свыше 6 ед.

Из рисунка 4.12 видно, что значения χ_{fdt} отличаются от распределения значений χ_{fd} в сторону количественного и площадного увеличения значений. Это связано с переходом тонкодисперсного пирита суперпарамагнитной размерности в магнетит после нагрева, образование которого в почвах тесно связано с биогеохимической деятельностью бактерий.

Таким образом, проанализировав распределение магнитных параметров почвенного покрова городов Вольск и Петровск мы наблюдаем течение идентичных процессов, что указывает на процесс их техногенной трансформации.

4.1.3 Петромагнитные свойства почв на территории города Хвалынский.

Основные петромагнитные данные почв, отобранных на территории города Хвалынский приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты петромагнитных исследований почв г. Хвалынского и фонового участка

Магнитные свойства	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Эксцесс	Асимметрия
Почвы города Хвалынский							
χ_{lf} (10^{-7} м ³ /кг)	1,81	77,2	7,2	10,8	1,50	40,1	6,16
χ_{hf} (10^{-7} м ³ /кг)	1,76	74,6	7,07	10,5	1,49	39,9	6,13
χ_{fd} (%)	0,05	5,65	2,68	1,3	0,49	-0,48	-0,19
χ_{lft} (10^{-7} м ³ /кг)	3,82	98,3	30,4	24,4	0,80	1,74	1,44
χ_{hft} (10^{-7} м ³ /кг)	3,63	98,3	2,91	2,33	0,80	1,64	1,43
χ_{fdt} (%)	0,53	6,81	4,17	1,48	0,35	0,002	-0,54
Почвы фонового участка							
χ_{lf} (10^{-7} м ³ /кг)	4,53	5,00	4,79	15,3	0,03	-0,46	-0,61
χ_{hf} (10^{-7} м ³ /кг)	4,22	4,65	4,46	14,1	0,03	-0,45	-0,63
χ_{fd} (%)	6,9	7,08	6,99	0,07	0,01	-1,70	-0,10
χ_{lft} (10^{-7} м ³ /кг)	6,69	8,00	7,41	33,4	0,05	2,59	-0,62
χ_{hft} (10^{-7} м ³ /кг)	6,20	7,25	6,86	28,2	0,04	3,05	-1,29
χ_{fdt} (%)	6,86	9,31	7,38	0,70	0,10	7,96	2,71

В таблице 4.3 приведены петромагнитные характеристики, измеренные в образцах почв, отобранных на территории города Хвалынск и на фоновом участке, до и после нагрева. Описание полученных результатов представлено ниже по тексту.

χ_{lf} в почвах города Хвалынска колеблется в интервале от $1,81 \times 10^{-7}$ до $77,2 \times 10^{-7}$ м³/кг, со среднеарифметическим значением $7,27 \times 10^{-7}$ м³/кг (рисунок 4.13). χ_{hf} варьирует в диапазоне от $1,76 \times 10^{-7}$ до $74,6 \times 10^{-7}$ м³/кг, со среднеарифметическим значением $7,07 \times 10^{-7}$ м³/кг. χ_{fd} варьирует от 0,05 до 5,65 % со среднеарифметическим значением 2,68 % (рисунок 4.14).

На фоновом участке распределение исследуемых параметров заметно отличается от распределения в пределах городской территории. χ_{lf} изменяется от $4,53 \times 10^{-7}$ до $5,0 \times 10^{-7}$ м³/кг со среднеарифметическим значением $4,79 \times 10^{-7}$ м³/кг. χ_{hf} колеблется в интервале от $4,22 \times 10^{-7}$ до $4,65 \times 10^{-7}$ м³/кг со среднеарифметическим значением $4,46 \times 10^{-7}$ м³/кг. χ_{fd} колеблется в диапазоне от 6,9 до 7,08% со среднеарифметическим значением 6,99% [62].

В почвенном покрове города Петровска при сопоставлении с фоновой территорией установлено увеличение значений χ_{lf} и χ_{hf} и их высокие колебания, а значения χ_{fd} уменьшаются. Увеличение χ_{lf} и χ_{hf} обусловлено поступлением в почву сильномагнитных минералов железа промышленного генезиса, а уменьшение значений χ_{fd} обусловлено преобладанием в почве многодоменных частиц, а также с нарушением в почвах биохимических процессов, участвующих в синтезе суперпарамагнитных частиц. Таким образом, в распределение петромагнитных свойств почв установлены закономерности характерные для всех трех исследуемых городов.



Рисунок 4.13 – Распределение удельной магнитной восприимчивости на частоте 976 Гц (χ_{lf}) в почвах города Хвалынска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{lf} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина χ_{lf} ($n \times 10^{-m}$ м³/кг): не закрашены участки с χ_{lf} менее 5×10^{-7} , 7 – $5 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6}$, 8 – $1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6}$, 9 – свыше 2×10^{-6}

Из рисунка 4.13 видно, что повышенные значения χ_{lf} отмечаются в точках опробования номер 21 и 39, это указывает на высокое содержание в почвах магнитных минералов техногенного происхождения. Распределение значений частотной зависимости магнитной восприимчивости указывает на наличие в почвах магнитных минералов суперпарамагнитной размерности.

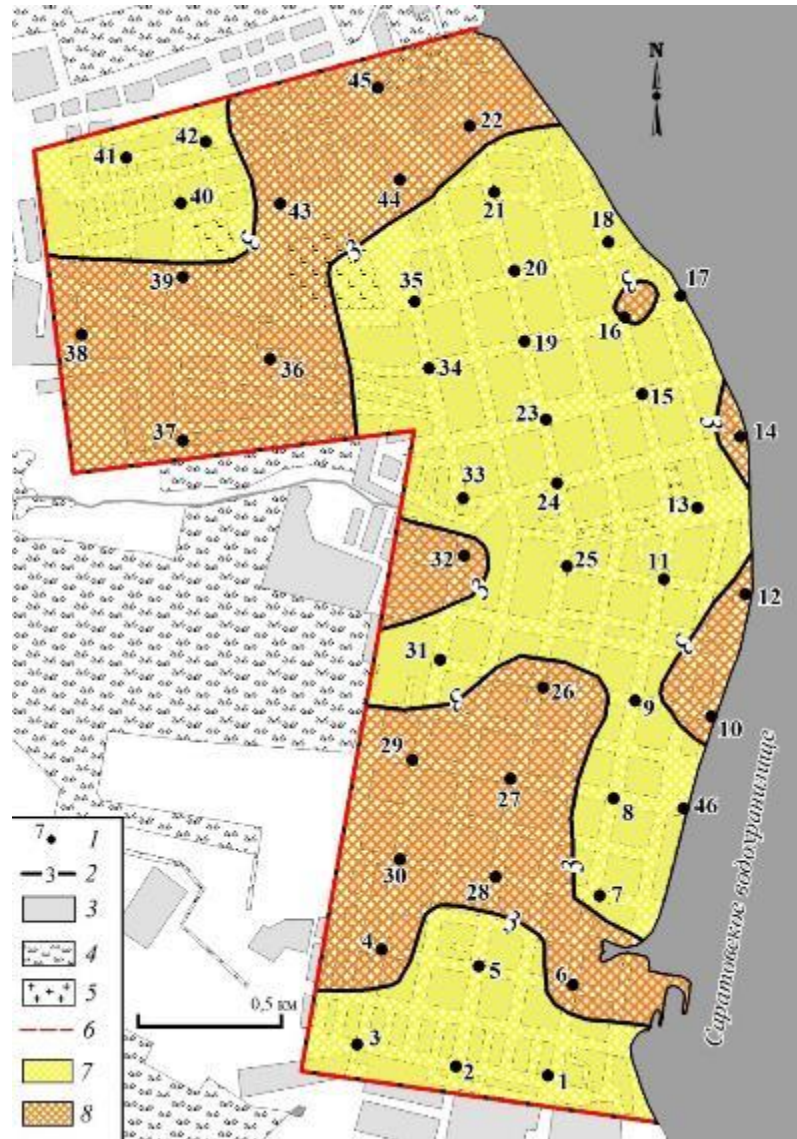


Рисунок 4.14 – Схема распределения частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fd}) в почвах города Хвалынска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{fd} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина χ_{fd} : 7 – менее 3 ед., 8 – 3–6 ед., 9 – свыше 6 ед.

На рисунке 4.14 видно, что на большей части города Хвалынска значения χ_{fd} изменяются от 0 до 6%, что ниже чем на фоновых участках. Это свидетельствует о том, что в почвах города Хвалынск нарушается баланс между однодоменными и суперпарамагнитными минералами. Таким образом, распределение параметра χ_{fd} , а именно, отклонение его от фоновых значений, отражает степень техногенной трансформации почв города Хвалынск.

Значительные колебания статистических параметров в почвах города Вольск в сравнение с их распределением на фоновом участке является диагностическим признаком техногенной трансформации почв населенных пунктов.

Наиболее показательное поступление магнитных минералов в почвы городов отражается через распределение коэффициента магнитности (рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Схема распределения коэффициента магнитности (K_{mag}) в почвах города Хвалынска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин K_{mag} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина K_{mag} : не закрашены участки с $K_{mag} < 1$ ед., 7 – 1–3 ед., 8 – 3–5 ед., 9 – свыше 5 ед.

В пределах исследуемой территории значения коэффициента магнитности изменялись от 0,38 до 16,13 единиц при среднем значении 1,52. Таким образом, было установлено, что в 20 пробах (43,5%) степень техногенной трансформации допустимая, в 24 пробах (52,1%) – умеренная, в 1 пробе (2,2%) – опасная и в 1 пробе (2,2%) – чрезвычайно опасная. Это указывает на то, что почвы города Хвалынска испытывают на себе активную техногенную трансформацию. Наибольшее техногенное преобразование почв, по результатам петромагнитных измерений отмечается в западной, северо-западной и северо-восточной частях города, что, возможно обусловлено интенсивным движением автомобильного и активным бытовым загрязнением почв.

Результаты терромагнитных исследований, отобранных образцов, показали следующее распределение магнитных свойств почв после нагрева. Значения удельной магнитной восприимчивости после нагрева заметно увеличились после нагрева, что представлено на рисунке 4.16.

Из рисунка 4.16 видно, что практически на всей исследуемой части города Хвалынска значения удельной магнитной восприимчивости после нагрева увеличились по сравнению с результатами в естественном состоянии, что свидетельствует о наличии в почвах города Хвалынска значительного количества немагнитных минералов, которые при фазовом переходе перешли в магнитные. Выявленная закономерность оказалась характерной для всех исследуемых городов.



Рисунок 4.16 – Распределение удельной магнитной восприимчивости на частоте 976 Гц (χ_{lf}) в почвах города Хвалынска после нагрева (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{lf} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина χ_{lf} ($n \times 10^{-m} \text{ м}^3/\text{кг}$): не закрашены участки с χ_{lf} менее 5×10^{-7} , 7 – $5 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6}$, 8 – $1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6}$, 9 – свыше 2×10^{-6}

Наиболее отчетливо выявленный фазовый переход иллюстрируется в схеме распределения термомагнитного коэффициента, представленной на (рисунке 4.17).



Рисунок 4.17 – Схема распределения термомагнитного коэффициента ($d\chi$) в почвах города Хвалынска (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин $d\chi$, 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина $d\chi$: не закрашены участки с $d\chi < 3$ ед., 7 – 3–5 ед., 8 – свыше 5 ед.

Из рисунка 4.17 видно, что в почвенном покрове на территории города Хвалынска формируется единое площадное поле распределения термомагнитного коэффициента, при этом в большинстве отобранных образцов значения термомагнитного коэффициента превышают критические значения в 3 единицы. О происхождении зоны аномальных значений термомагнитного коэффициента однозначно судить, в настоящее время, не представляется возможным. Можно

сказать, что связано это с наличием в почвах города Хвалынска большого количества немагнитных минералов (предположительно пирита), которые могли быть унаследованы от материнской породы или сформироваться в почвах в результате активного антропогенного воздействия.

О наличии в почвах города Хвалынска немагнитных минералов свидетельствует также распределение частотной зависимости магнитной восприимчивости после нагрева (рисунок 4.18).

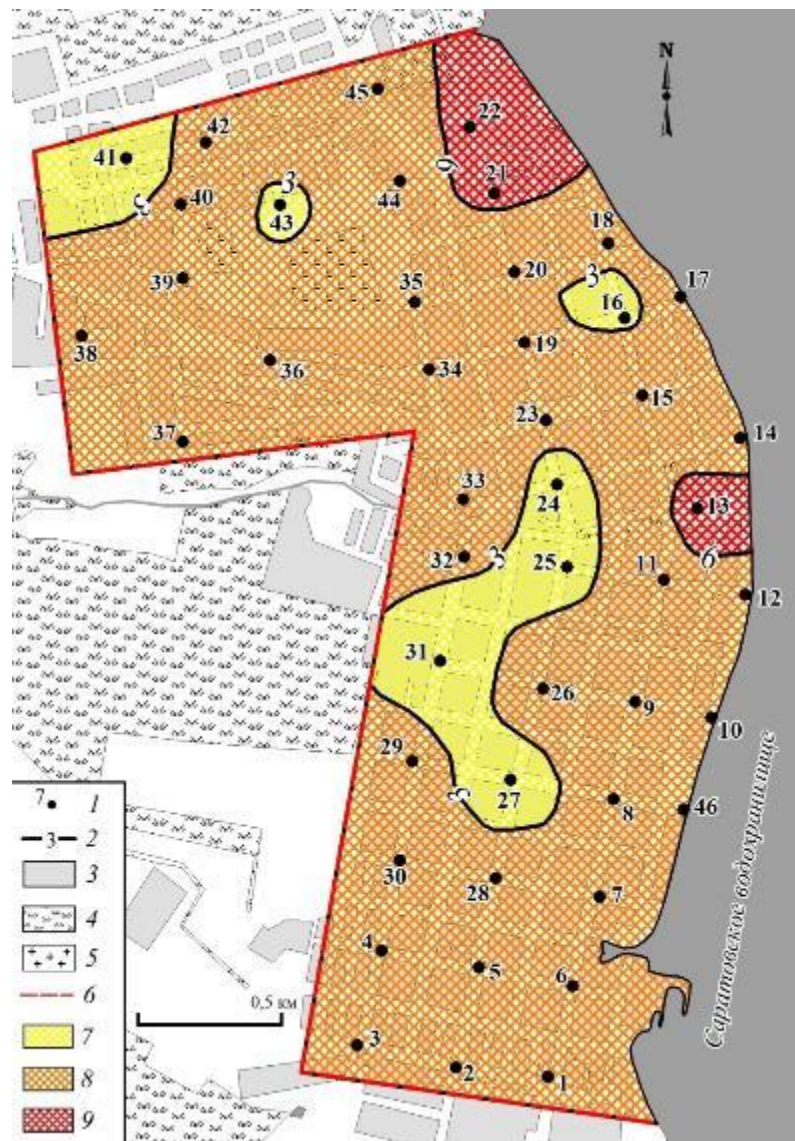


Рисунок 4.18 – Схема распределения частотной зависимости магнитной восприимчивости (χ_{fdt}) в почвах города Хвалынска после нагрева (составлено автором). Цифрами обозначены: 1 – площадки опробования, 2 – изолинии величин χ_{fdt} , 3 – застроенные зоны, 4 – зеленые зоны, 5 – кладбище, 6 – граница полигона; величина χ_{fdt} : 7 – менее 3 ед., 8 – 3–6 ед., 9 – свыше 6 ед.

Из рисунка 4.18 видно, что значения χ_{fdt} отличаются от распределения значений χ_{fd} в сторону количественного и площадного увеличения значений. Это связано с переходом тонкодисперсного пирита суперпарамагнитной размерности в магнетит после нагрева, образование которого в почвах тесно связано с биогеохимической деятельностью бактерий.

Таким образом, проанализировав распределение петромагнитных свойств почв городов Вольск, Петровск и Хвалынский мы наблюдаем течение идентичных процессов, что указывает на процесс их техногенной трансформации.

4.2 Сопоставление результатов эколого-геофизических и эколого-геохимических исследований почв.

В пределах урбанизированных территорий загрязняющие вещества имеют практически идентичные пути миграции и области аккумуляции, в независимости от своего происхождения и источника поступления. Таким образом, тяжелые металлы и соединения железа должны формировать единые области аккумуляции, что должно приводить к формированию единых зон аномального содержания этих элементов в почвах. В настоящем разделе диссертационной работы мы сопоставили результаты эколого-геохимических и эколого-геофизических измерений с целью установления взаимосвязей в пространственном распределении и корреляционных взаимоотношений между ними.

Результаты аналитических исследований были сопоставлены между собой для нахождения корреляционных взаимосвязей таблица 4.4.

Вольск

Установлены интенсивные корреляционные взаимоотношения геохимическими и петромагнитными параметрами. Коэффициенты Пирсона ($p < 0.01$) зафиксированы в парах χ_{lf} -Pb (0,55), Сорг.-Ni (0,40), Сорг.-Cd (0,58) и Сорг.-Zn (0,39) [40].

Таблица 4.4 – Корреляционные взаимосвязи между магнитными свойствами почв и концентрацией тяжелых металлов

	χ_{lf}	χ_{fd}	Сорг.	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn	Zc
<i>Почвы города Вольск (n=50; p=0.05; r=0.27)</i>										
χ_{lf}	1,00	-0,24	0,19	-0,14	0,04	-0,06	0,18	0,55	0,16	0,54
χ_{fd}		1,00	0,14	0,31	-0,21	0,02	-0,12	-0,30	-0,04	-0,31
Сорг.			1,00	0,40	0,16	0,58	0,33	0,21	0,39	0,25
<i>Почвы города Петровск (n=33; p=0.05; r=0.35)</i>										
χ_{lf}	1,00	-0,11	0,01	0,04	0,05	0,03	-0,03	0,09	0,06	0,08
χ_{fd}		1,00	-0,03	0,58	-0,07	-0,05	0,15	-0,17	-0,21	-0,18
Сорг.			1,00	0,54	0,16	0,32	0,23	0,35	0,18	0,31
<i>Почвы города Хвалынк (n=46; p=0.05; r=0.29)</i>										
χ_{lf}	1,00	0,03	0,08	0,00	0,03	0,08	-0,10	0,09	0,04	0,05
χ_{fd}		1,00	-0,15	0,25	0,08	0,03	0,21	-0,07	-0,16	0,02
Сорг.			1,00	-0,29	-0,07	0,49	-0,39	0,14	0,44	0,08

Корреляционные взаимосвязи в паре χ_{lf} -Pb указывают на то, что техногенные минералы железа и катионы свинца попадают в почвенный покров Вольска либо из одного источника, либо по общему пути миграции. Доказано, что отходах цементного производства имеются высокие концентрации тяжелых металлов, например, свинца, которые сохраняются в почве на протяжении многих лет.

Низкие коэффициенты корреляции, обусловлены, скорее всего, с малыми объемами выбросов анализируемых металлов в пределах Вольска и, как следствие, низкой степенью их накопления в почвах.

Положительные корреляции между гумусом и тяжелыми металлами установлены в парах Сорг.-Ni (0.40), Сорг.-Cd (0.58) и Сорг.-Zn (0.39), что обусловлено поглощением катионов никеля, кадмия и цинка гумусом.

Петровск и Хвалынк

Из таблицы 4.4 видно, что значимые коэффициенты корреляции между магнитной восприимчивостью и концентрациями подвижных форм исследуемых

тяжелых металлов в почвах города Петровска не установлено за исключением никеля, корреляционная взаимосвязь между χ_{fd-Ni} (0.58). Хотя во многих работах, проведенных в пределах урбанизированных территорий, отмечаются значимые коэффициенты корреляции с такими металлами как Pb, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni и Zn [78, 81, 83, 86].

По результатам определения магнитных свойств почв исследуемых городов установлены следующие закономерности:

- в почвах всех исследуемых городов отмечается значительный рост значений удельной магнитной восприимчивости по сравнению с ее фоновыми значениями, отмечается также значительная вариация статистических параметров распределения удельной магнитной восприимчивости на городских и на фоновых участках, что свидетельствует о значительном привносе техногенных магнитных минералов в почвы на городских территориях и может являться их диагностическим показателем;

- коэффициент магнитности, отражает степень увеличения магнитной восприимчивости почв городов по сравнению с естественными почвами и может быть использован в качестве диагностического показателя степени их техногенной трансформации. При этом выявление участков техногенной трансформации почв возможно в населенных пунктах с различным уровнем населения и антропогенной нагрузки;

- частотная зависимость магнитной восприимчивости, отражает содержание в почвах магнитных минералов суперпарамагнитной размерности и может быть использована в качестве диагностического показателя техногенной трансформации городских почв. Установлено, что в почвах, урбанизированных территории, распределение значений исследуемого параметра значительно отличается от его распределения в естественных почвах фоновых участков, что может являться диагностическим показателем городских почв;

- значения термомагнитного коэффициента в почвах исследуемых городов образуют значительные петромагнитные аномалии, формирование которых может быть связано как с естественными, так и с техногенными процессами, что в

настоящий момент требует дополнительного изучения. Значительное отличие в распределении значений термомагнитного эффекта в почвах городских и фоновых участков позволяет использовать его в качестве диагностического показателя городских почв.

4.3 Рекомендации по оптимизации урбогеосистем.

Для городских почв, в которых аккумулируется большое количество загрязнителей, необходимо применение комплекса мер по оптимизации в целях обеспечения комфортности проживания населения и соблюдения санитарно-гигиенических условий.

Загрязненные почвы, являясь вторичным источником загрязнения других природных сред, должны подвергаться мониторинговым эколого-геохимическим съемкам. В условиях урбанизированных территорий периодичность площадных исследований должна составлять 1 раз в 3–5 лет [6], что позволяет получать надежные данные о структуре и динамике литогеохимических полей.

Существующая в настоящая время система наблюдений, реализуемая в рамках социально-гигиенического мониторинга, явно недостаточна для городов Саратовской области. Так, в рамках мониторингового контроля для анализа качества среды обитания, выполняемого по всей территории Саратовской области, санитарно-эпидемиологическая безопасность почв населенных мест по санитарно-химическим показателям исследовалась в 2016 и 2017 годах по 192 мониторинговым точкам в объеме по 712 проб ежегодно, в 2018 и 2019 годах – по 150 точкам в объеме 556 проб ежегодно [43, 44]. Очевидно, при таком небольшом объеме исследований о детальном наблюдении и картографировании почв городов не может идти речи.

Даже в столице региона – Саратове – детальные литогеохимические съемки почв по заказу государственных структур выполнялись лишь дважды в 2000 и 2007 г. По некоторым другим площадным съемкам городских территорий

сведения содержатся в ряде публикаций сотрудников лаборатории геоэкологии Саратовского университета.

Выполненный в настоящем исследовании эколого-геохимический анализ состояния почв городов Вольска, Хвалынска и Петровска выполнен впервые. На основе полученных данных и маршрутных наблюдений в целях оптимизации состояния почв предлагается проведение комплекса мероприятий.

Во-первых, особое внимание следует уделять качеству почв мест пребывания населения в рекреационных целях. Как правило, это городские парки и скверы в микрорайонах городов. Длительный период воздействия на почвы, насчитывающий многие десятки лет, обуславливает уплотнение их сложения и повышенную концентрацию выпадающих из атмосферы загрязняющих веществ в верхней части почвенного профиля. Для подобных объектов следует предусматривать замену верхней части почвенного покрова с обязательным удалением слоя до 15–20 см от поверхности. Успешный пример проведения подобных мероприятий отмечается в городском парке города Вольска, где при реконструкции в течение 2017–2018 годов было проведено ландшафтное планирование с заменой почвенного покрова и его закреплением газонами с травяным покрытием.

Во-вторых, следует организовать систему поверхностного водоотведения, особенно в районах транспортных магистралей. Повышенные концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов обнаружены в районах расположения крупных автомобильных дорог, загрязненный неорганизованный сток с которых направляется на обширные площади, где взвешенный материал выпадает на поверхность почв, изменяя его химический состав. Неорганизованный поверхностный сток – массовое явление в небольших по площади городах, и до настоящего времени при реконструкции улично-дорожной сети этому вопросу уделяется мало внимания. С этим фактором связано и попадание в почвы противогололедных реагентов.

В-третьих, при реконструкции скверов и аллей в городах необходим более строгий контроль за соблюдением технологии ландшафтного планирования. В

последние годы при реализации проектов по созданию комфортной городской среды наблюдаются ситуации, когда на площадках, подготовленных для размещения насыпного слоя почв, остается обилие разнообразного мусора, а ряде случаев днище площадок забетонировано. В подобных условиях на насыпном слое почв мощностью 15–20 см плохо приживаются не только древесно-кустарниковые растения, но и травяной покров. Кроме того, нередко в центре подобных газонов образуется замкнутое понижение, где застраиваются поверхностные осадки с последующим образованием уплотненного поверхностного слоя и трещин усыхания.

В-четвертых, требуется техническая и биологическая рекультивация земель в районе существовавших ранее промышленных производств. Нередко после прекращения существования промышленных объектов, особенно на городских окраинах, не проводится необходимая рекультивация земель, и на бывших промышленных площадках почвы загрязняются различными отходами и поллютантами.

В-пятых, площадные, точечные и линейные источники загрязнения должны соблюдать необходимые санитарные нормы и правила. В частности, в районе промышленных предприятий необходим строгий контроль за соблюдением мероприятий в санитарно-защитной зоне. Вдоль крупных автодорог могут быть организованы механические барьеры для предотвращения распространения выбросов и их выпадения на почвенный покров.

В-шестых, в городах следует организовать почвенно-геохимические съемки как минимум 1 раз в 5 лет. Наблюдения за «ядрами» аномалий и наиболее важными объектами с регулярным пребыванием населения (детские площадки, парки и скверы) следует проводить чаще.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эколого-геохимические исследования, выполненные в рамках диссертационного исследования, установили наличие геохимических аномалий по тяжелым металлам в почвах исследуемых городов, что ранее не было установлено. Анализ распределения подвижных форм тяжелых металлов показал, что приоритетными компонентами для исследуемых городов являются (в порядке убывания значимости): для города Вольск – Pb>Cu>Zn>Ni>Cd>Cr; для городов Петровск и Хвалынский – Cu>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr.

2. Анализ результатов оценки состояния почвенного покрова по трем показателям суммарного загрязнения показал, что в целом примененные критерии одинаково диагностируют степень загрязнения почв. Наиболее загрязненные почвы, по всем трем суммарным показателям, располагаются в пределах города Вольска. Меньшую степень загрязнения имеют почвы на территории Хвалынского. Наименее загрязненные почвы расположены на территории Петровска. Из трех рассчитанных показателей суммарного загрязнения индекс загрязнения почв (ИЗП) обеспечивает экологически и гигиенически обоснованную дифференциацию территории по степени опасности проживания населения. Индекс загрязнения почв основывается на гигиенических нормативах, поэтому интерпретация результатов его расчетов зачастую безальтернативна и наиболее результативна в диагностике эколого-гигиенического состояния урбанизированных территорий.

3. По результатам определения содержания органического вещества и нефтепродуктов для территории исследуемых городов установлено два основных процесса, связанных с распределением соединений углерода. Первый процесс – снижение содержания органического вещества в почвах урбанизированных территорий по сравнению с их фоновыми аналогами. Это явление отмечается во многих городах и обусловлено рядом негативных процессов в почвенном покрове, среди которых важную роль играют загрязнение почв различными загрязнителями, уплотнение почв в пределах населенных пунктов и некоторые

другие. Почвенный покров исследуемых городов требует внимания со стороны природоохранных служб с целью восстановления агрохимических свойств. Второй процесс – рост содержания нефтепродуктов в почвах на территориях исследуемых городов вплоть до превышающих нормативные значения. Подобный процесс отмечается для большинства урбанизированных территории связан с увеличением числа автомобильного транспорта в городах. Помимо непосредственно нефтепродуктов, в почву поступает ряд других специфических загрязнителей органического происхождения. Таким образом, нефтепродукты и продукты их сгорания становятся одними из приоритетных загрязнителей в почвах населенных пунктов и требуют особого контроля со стороны природоохранных служб.

4. Отмечается значительный рост значений удельной магнитной восприимчивости по сравнению с ее фоновыми значениями, отмечается также значительная вариация статистических параметров распределения удельной магнитной восприимчивости на городских и на фоновых участках, что свидетельствует о значительном привносе техногенных магнитных минералов в почвы на городских территориях и может являться их диагностическим показателем. Коэффициент магнитности, отражающий степень увеличения магнитной восприимчивости почв городов по сравнению с естественными почвами, может быть использован в качестве диагностического показателя степени их техногенной трансформации. При этом выявление участков техногенной трансформации почв возможно в населенных пунктах с различным уровнем населения и антропогенной нагрузки;

5. Частотная зависимость магнитной восприимчивости может быть использована в качестве диагностического показателя техногенной трансформации городских почв. Установлено, что в почвах, урбанизированных территории, распределение значений исследуемого параметра значительно отличается от его распределения в естественных почвах фоновых участков, что может являться диагностическим показателем городских почв;

6. Значения термомагнитного коэффициента образуют значительные петромагнитные аномалии, формирование которых может быть связано как с естественными, так и с техногенными процессами, что в настоящий момент требует дополнительного изучения. Значительное отличие в распределение значений термомагнитного эффекта в почвах городских и фоновых участков позволяет использовать его в качестве диагностического показателя городских почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы ее трансформации / Л.: Наука, 1980. 287 с.
2. Алексеенко В.А., Суворинов А.В., Алексеенко А.В., Бофанова А.Б. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области / М.: Логос, 2002. 309 с.
3. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. 388 с.
4. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в городских почвах / М.: Логос, 2014. 310 с.
5. Багаева М.И., Гужиков А.Ю. Магнитные текстуры как индикаторы условий формирования титонских-берриасских пород Горного Крыма // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 41-47. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2014-14-1-41-47>
6. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Морозов И.В., Невидомская Д.Г. Урбопочвоведение. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный ун-т, 2012. – 262 с.
7. Бусоргина Н.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как генетический и диагностический их показатель. автореф. дисс. на соиск. ... к.с.-х.н. Уфа: б.и., 2002. 164 с.
8. Бычинский В.А., Вашукевич Н.В. Экологическая геохимия. Тяжёлые металлы в почвах в зоне влияния промышленного города. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2008. 189 с.
9. Вагапов И.М. Магнитная восприимчивость как показатель формирования пространственной изменчивости почв, обусловленной палеоэкологическими факторами. Дисс. на соиск. ... к.б.н. Пушкино: б.и., 2013. 172 с.
10. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Картосхема магнитной восприимчивости повенного покрова г. Перми // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3. С. 24-27.

11. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. 306 с.
12. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2009. 96 с.
13. Водяницкий Ю.Н. Оксиды железа и их роль в плодородии почв. М.: Наука, 1989. 161 с.
14. Водяницкий Ю.Н. Образование оксидов железа в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1992. 274 с.
15. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1998. 166 с.
16. Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1998. 218 с.
17. Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 156 с.
18. Водяницкий Ю.Н. Биогеохимическая роль магнетита в городских почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2013. № 3. С. 350-358.
19. Гладышева М.А. Магнитная восприимчивость урбанизированных почв (на примере г. Москвы). Дисс. на соиск. ... к.б.н. М.: б.и., 2007. 140 с.
20. Гладышева М.А., Иванов А.В., Строганова М.Н. Применение магнитной восприимчивости для выявления ареалов техногенно-загрязненных почв города Москвы // Почвоведение. 2007. № 2. С. 235-242.
21. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018. 3 с.
22. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018. 9 с.
23. ГОСТ Р 53123-2008. Качество почвы. Отбор проб. Ч. 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы. М.: Стандартинформ, 2009. 27 с.

24. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1992. 6 с.

25. Гребенюк Л.В., Ерёмин В.Н., Решетников М.В., Фомина О.В. Оценка воздействия автотранспорта на состояние атмосферного воздуха и почвенного покрова на территории города Энгельса (Саратовская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 2. С. 57-63. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2014-14-2-57-63>

26. Добролюбова Н.В., Маджид Д.С.М., Ерёмин В.Н., Решетников М.В. Концентрация органического вещества и нефтепродуктов в почвах Петровска (Саратовская обл.) // Плодородие. 2020. № 6. С. 62-65.

27. Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем / Отв. ред. В.Е. Соколов. М.: Наука, 1982. 278 с.

28. Жданова А.И., Казанский А.Ю., Зольников И.Д., Матасова Г.Г., Гуськов С.А. Опыт фациально-генетического расчленения субаэральных отложений Новосибирского Приобья геолого-петромагнитными методами на примере опорного разреза «Огурцово» // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 4. С. 446–459.

29. Жданова А.И., Матасова Г.Г., Зольников И.Д., Казанский А.Ю., Гуськов С.А. Условия накопления четвертичных субаэральных отложений Новосибирского Приобья по геолого-геофизическим данным разреза Кольцова // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2009. Сер. 7 Вып. 3 С. 69-85.

30. Жидкин А.П. Оценка эрозионных процессов методом магнитного трассера в пределах малого водосбора в Курской области // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 149-156.

31. Коснырева М.В. Разработка комплекса геофизических методов для решения прикладных задач почвенного картирования. Дисс. на соиск. ... к.г.-м.н. М.: б.и., 2007. 135 с.

32. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды / Отв. ред. М.А. Глазовская, Н.С. Касимов. М.: Недра, 1989. 263 с.

33. Лобанова Е.С. Магнитная восприимчивость и эколого-геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий восточной окраины Русской равнины (на пример г. Перми). Дисс. на соиск. ... к.б.н. Пермь: б.и., 2013. 174 с.

34. Ломов С.П., Пеньков А.В. Магнитная восприимчивость некоторых современных и ископаемых почв Таджикистана // Почвоведение. 1979. № 6. С. 100-109.

35. Лукшин А.А., Румянцева Т.И., Ковриго В.П. Магнитная восприимчивость основных типов почв Удмуртской АССР // Почвоведение. 1968. № 1. С. 93-98.

36. Маджид Д.С.М., Мамедов Р.М., Кадымиков А.К. Подвижные формы тяжелых металлов в почвенном покрове на территории Трофимовского нефтяного месторождения // Геологи XXI века: Мат-лы XVIII Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов (Саратов, 5–6 апреля 2018 г.). – Саратов: Техно-Декор, 2018. – С. 109–110.

37. Маджид Д.С.М., Решетников М.В. Геоэкологическое состояние почв города Вольска (Саратовская область) // Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств: Мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Гомель, 29–30 ноября 2018 г.). Ч. 2. – Гомель: Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, 2018. – С. 109–111.

38. Маджид Д.С.М. Оценка загрязнения почв г. Вольска подвижными формами тяжелых металлов // Геологи XXI века: Мат-лы XIX Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов (Саратов, 4–5 апреля 2019 г.). – Саратов: Техно-Декор, 2019. – С. 20–21.

39. Маджид Д.С.М., Решетников М.В., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б. Подвижные формы тяжелых металлов в почвенном покрове города Вольска (Саратовская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2019. – Т. 19. – Вып. 2. – С. 104–108.

40. Маджид Д.С., Решетников М.В., Ерёмин В.Н., Шешнёв А.С. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов и магнитные свойства почв

г. Вольск Саратовской области // Юг России: экология, развитие. – 2020. – № 1. – С. 137–144.

41. Макаров О.А., Кубарев Е.Н., Чистова О.А., О.В. Карева, Каприкуненко А.С., Балджиев А.С. Магнитная восприимчивость почв на придорожных территориях // Земледелие. 2019. № 2. С. 17-20.

42. Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Позднякова О.А. Опыт применения петромагнитного метода для оценки перспектив применения магниторазведки на территории археологических памятников Барабинской лесостепи // Физика Земли. 2016. № 6. С. 86-99.

43. Материалы Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году» по Саратовской области. – Саратов: Управление Роспотребнадзора по саратовской области, 2019. – 279 с.

44. Материалы Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году» по Саратовской области. – Саратов: Управление Роспотребнадзора по саратовской области, 2020. – 281 с.

45. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.

46. Миков О.А. Оценка техногенного загрязнения почв методом капшаметрии при эколого-геохимическом мониторинге. Дисс. на соиск. ... к.г.-м.н. Томск: б.и., 1999. 148 с.

47. Можарова Н.В., Пронина В.В., Иванов А.В., Шоба С.А., Загурский А.М. Формирование магнитных оксидов железа в почвах над подземными хранилищами газа // Почвоведение. 2007. № 6. С. 707-720.

48. Можарова Н.В. Функционирование и формирование почв над подземными хранилищами природного газа. Дисс. на соиск. ... д.б.н. М.: б.и., 2009. 343 с.

49. Молостовский Э.А., Фролов И.Ю. Метод экспрессной оценки загрязнения почв и грунтов подземными техногенными скоплениями

углеводородов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2005. № 6. С. 560-564.

50. Нгун К.Т., Плешакова Е.В., Решетников М.В., Кузнецов В.В. Использование микробиологических показателей в эколого-почвенном мониторинге города Медногорска // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2014-14-1-55-60>

51. Обыденова Л.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель агроэкологической оценки их свойств. Дисс. на соиск. ... к.б.н. Ижевск: б.и., 2003. 272 с.

52. Павлов П.Д., Решетников М.В., Ерёмин В.Н. Оценка загрязнения почвенного покрова подвижными и валовыми формами тяжелых металлов в зоне влияния Гусельского полигона захоронения твердых бытовых отходов (г. Саратов) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2015. Т. 15, вып. 3. С. 53-56. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2015-15-3-53-56>

53. ПНД Ф 16.1.41-04. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах гравиметрическим методом. М.: МПР РФ, 2004. 11 с.

54. Пименов М.В., Маникин А.Г., Ямпольская О.Б., Гужикова А.А., Жуков А.Н. Предварительные результаты исследований по оценке возможности количественной интерпретации термокаппаметрических данных // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2007. Т. 7, вып. 1. С. 39-44. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2007-7-1-39-44>

55. Плеханова Л.Н. Вариабельность магнитной восприимчивости почв в связи с отражением палеоклиматических обстановок и влиянием почвообразующих пород [// Геоархеология и археологическая минералогия. 2019. Том 6. С. 31-34.

56. Пронина В.В. Формирование магнитных оксидов железа в почвах при подземном хранении природного газа. Дисс. на соиск. ... к.б.н. М.: б.и., 2007. 185 с.

57. Решетников М.В., Утиулиев А.К., Пальцев И.С. Результаты геоэкологических исследований почвенного покрова посёлка Октябрьский (Дергачевский район Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 89-94. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2013-13-2-89-94>

58. Решетников М.В., Дингес О.Г. Концентрация свинца и кадмия на территории детских дошкольных учреждений города Энгельса // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2011. Т. 11, вып. 2. С. 67-72. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2011-11-2-67-72>

59. Решетников М.В., Маджид Д.С.М., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б., Добролюбов А.И. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территории Трофимовского нефтяного месторождения (Саратовская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2018. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 278–282.

60. Решетников М.В., Маджид Д.С.М. Комплексные петромагнитные и геохимические исследования почв урбанизированных территорий в пределах Саратовской области // Экологические проблемы природо- и недропользования. Наука и образование. «Экогеология – 2018»: Мат-лы Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 1–5 октября 2018 г.). – СПб.: ЛЕМА, 2018. – С. 240–242.

61. Решетников М.В., Маджид Д.С.М., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б. База данных «Концентрация нефтепродуктов, органического вещества и подвижных форм тяжелых металлов в почвах города Вольск (Саратовская область)»: свидетельство о гос. регистрации № 2018621722; заявка № 2018621407 от 10.10.2018; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 02.11.2018 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». – 2018. – № 11.

62. Решетников М.В., Ерёмин В.Н., Маджид Д.С.М., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б. База данных «Петромагнитные свойства почвенного покрова на территории города Хвалы́нск (Саратовская область)»: свидетельство о гос. регистрации № 2019621159; заявка № 2019621039 от 18.06.2019; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 01.07.2019 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». – 2019. – № 7.

63. Решетников М.В., Ерёмин В.Н., Маджид Д.С.М., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б. База данных «Петромагнитные свойства почвенного покрова на территории города Вольск (Саратовская область)»: свидетельство о гос. регистрации № 2019621161; заявка № 2019621038 от 18.06.2019; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 01.07.2019 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». – 2019. – № 7.

64. Решетников М.В., Маджид Д.С.М., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б. База данных «Концентрация нефтепродуктов, органического вещества и подвижных форм тяжелых металлов в почвах города Хвалы́нск (Саратовская область)»: свидетельство о гос. регистрации № 2019621638; заявка № 2019621034 от 18.06.2019; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 17.09.2019 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». – 2019. – № 9.

65. Решетников М.В., Маджид Д.С.М., Шкодин С.Д., Юдин Н.Б. Органическое вещество в почвах города Вольска (Саратовская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2019. – Т. 19. – Вып. 1. – С. 63–67.

66. Рогова О.Б. Медь и цинк в почвах зоны влияния Череповецкого комбината связи с содержанием в них техногенных оксидов железа. Дисс. на соиск. ... к.б.н. М.: б.и., 2010. 132 с.

67. Страдина О.А. Диагностика техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами на основе измерений их магнитной восприимчивости // Земледелие. 2007. № 4. С.16-18.

68. Страдина О.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель их загрязнения тяжелыми металлами. Дисс. на соиск. ... к.с.-х.н. Ижевск: б.и., 2008. 240 с.

69. Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем / ред. М.А. Глазовская. М.: Наука, 1981. 255 с.

70. Фаттахова Л.А., Шинкарев А.А., Косарева Л.Р. Магнитные профили почв Волжско-Камской лесостепи // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2016. Том 158. № 3. С. 391-403.

71. Фаттахова Л.А. Распределение магнитных характеристик в профилях автоморфных зональных почв Волжско-Камской лесостепи. Дисс. на соиск. ... к.б.н. Уфа: б.и., 2019. 138 с.

72. Фаттахова Л.А., Щербаков В.П., Кузина Д.М., Даутов А.Н., Сычева Н.К. Изменение магнитных свойств дерново-подзолистых почв в зависимости от условий почвообразования // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Том 19. № 3. С. 51-63.

73. Чащин А.Н. Оксиды железа и тяжелые металлы в загрязненных металлургическим производством почвах г. Чусовой (Среднее Предуралье). Дисс. на соиск. ... к.б.н. Уфа: б.и., 2010. 156 с.

74. Шешнёв А.С., Решетников М.В. Петро- и термомагнитная характеристика почв и грунтов в районе полигона складирования отходов «Октябрьский» (г. Саратов) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2015. Т. 15, вып. 2. С. 61-66.
DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2015-15-2-61-66>

75. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 327 с.
76. Ямпольская О.Б. Магнитостратиграфическая характеристика пограничных отложений юры-мела Восточного Крыма // Юрская система России: Третье Всероссийское совещание: научные материалы. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2009. – С. 265-267.
77. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried paleosols // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. Vol. 249. Iss. 1. Pp. 103–127.
78. Ayoubi S., Soltani Z., Khademi H. Particle Size Distribution of Heavy Metals and Magnetic Susceptibility in an Industrial Site // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018. Vol. 100. Iss. 5. Pp. 708–714.
79. Blaha U., Appel E., Stanjek H. Determination of anthropogenic boundary depth in industrially polluted soil and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility // *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 156. Iss. 2. Pp. 278-289.
80. Blundell A., Dearing J.A., Boyle J.F., Hannam J.A. Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales // *Earth-Science Reviews*. 2009. Vol. 95. Iss. 3–4. Pp. 158–188.
81. Botsou F., Karageorgis A.P., Dassenakis E., Scoullou M. Assessment of heavy metal contamination and mineral magnetic characterization of the Asopos River sediments (Central Greece) // *Marine Pollution Bulletin*. 2011. Vol. 62. Iss. 3. Pp. 547–563.
82. Canbay M., Aydin A., Kurtulus C. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey) // *Journal of Applied Geophysics*. 2010. Vol. 70. Iss. 1. Pp. 46–57.
83. Chan L.S., Ng S.L., Davis A.M., Yim W.W.S., Yeung C.H. Magnetic properties and heavy metal contents of contaminated seabed sediments of Penny's Bay, Hong Kong // *Marine Pollution Bulletin*. 2001. Vol. 42. Iss. 7. Pp. 569–583.

84. Dankoub Z., Ayoubi S., Khademi H., Lu S.G. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, Central Iran // *Pedosphere*. 2012. Vol. 22. Iss. 1. Pp. 33–47.
85. D’Emilio M., Macchiato M., Ragosta M., Simoniello T. A method for the integration of satellite vegetation activities observations and magnetic susceptibility measurements for monitoring heavy metals in soil // *Journal of Hazardous Materials*. 2012. Vol. 241–242. Pp. 118–126.
86. El Baghdadi M., Jakani K., Barakat A., Baye Y. Magnetic susceptibility and heavy metal contamination in agricultural soil of Tadla plain // *Journal of Materials and Environmental Science*. 2011. №2 (S1). Pp. 513–519.
87. 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*. 2012. Vol. 66. Iss. 1. Pp. 141–155.
88. Flanders P.J. Collection, measurements and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment // *Journal of Applied Physics*. 1994. Vol. 75. Pp. 5931–5936.
89. Gudadhe S.S., Sangode S.J., Patil S.K., Chate D.M., Meshram D.C., Badekar A.G. Pre and postmonsoon variations in the magnetic susceptibilities of soils of Mumbai metropolitan region: implications to surface redistribution of urban soils loaded with anthropogenic particulates // *Environmental Earth Sciences*. 2012. Vol. 67. Pp. 813–831.
90. Hanesch M., Scholger R. Monitoring of heavy metals loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements // *Environmental Geology*. 2002. Vol. 42. Pp. 857–870.
91. Hunt A., Jones J., Oldfield F. Magnetic measurements and heavy metals in atmospheric particulates of anthropogenic origin // *Science of the Total Environment*. 1984. Vol. 33. Iss. 1–4. Pp. 129–139.
92. Jordanova N., Jordanova D., Veneva L., Yorova K., Petrovský E. Magnetic response of soils and vegetation to heavy metal pollution – a case study // *Environmental science & technology*. 2003. Vol. 37. Iss. 19. Pp. 4417–4424.

93. Jordanova D., Jordanova N., Petrov P. Magnetic susceptibility of road deposited sediments at a national scale – relation to population size and urban pollution // *Environmental pollution*. 2014. Vol. 189. Pp. 239–251.
94. Kapička A., Jordanova N., Petrovský E., Podrázský V. Magnetic study of weakly contaminated forest soils // *Water, Air and Soil Pollution*. 2003. Vol. 148. Pp. 31–44.
95. Karimi A., Haghnia G.H., Safari T., Hadadian H. Lithogenic and anthropogenic pollution assessment of Ni, Zn and Pb in surface soils of Mashhad plain, northeastern Iran // *Catena*. 2017. Vol. 157. Pp. 151–162.
96. Karimi A., Frechen M., Khademi H., Kehl M., Jalalian A. Chronostratigraphy of loess deposits in northeast Iran // *Quaternary International*. Vol. 234. Iss. 1–2. Pp. 124–132.
97. Li P., Qiang X.K., Xu X.W., Li X.B., Sun Y.F., 2010. Magnetic properties of street dust: a case in Xi'an city, Shanxi province, China. *Chin // Chinese Journal Geophysics*. Vol. 53. Iss. 1. Pp. 156–163.
98. Liu L., Zhang Z., Zhang K., Liu H., Fu S. Magnetic susceptibility characteristics of surface soils in the Xilingele grassland and their implication for soil redistribution in wind-dominated landscapes: A preliminary study // *Catena*. 2017. Vol. 163. Pp. 33–41.
99. Lu S.G., Bai S.Q. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China // *Journal of Applied Geophysics*. 2006. Vol. 60. Iss. 1. Pp. 1–12.
100. Magiera T., Kapička A., Petrovsky E., Strzyszcz Z., Fialova H., Rachwał M. Magnetic anomalies of forest soils in the Upper Silesia–Northern Moravia region // *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 156. Iss. 3. Pp. 618–627.
101. Maher B.A., Prospero J.M., Mackie D., Gaiero D., Hesse P.P., Balkanski Y. Global connections between aeolian dust, climate and ocean biogeochemistry at the present day and at the last glacial maximum // *Earth-Science Reviews*. Vol. 99. Iss. 1–2. Pp. 61–97.

102. Maher B.A., Alekseev A., Alekseeva T. Variation of soil magnetism across the Russian steppe: its significance for use of soil magnetism as a paleorainfall proxy // *Quaternary Science Reviews*. 2002. Vol. 21. Iss. 14. Pp. 1571–1576.
103. Maher B.A., Alekseev A., Alekseeva T. Magnetic mineralogy of soils across the Russian Steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. Vol. 201. Iss. 3–4. Pp. 321–341.
104. Maher B.A., Hallam D.F. Paleomagnetic correlation and dating of Pilo/Pleistocene sediments at the southern margins of the North Sea Basin // *Journal of Quaternary Science*. 2005. Vol. 20. Iss. 1. Pp. 67–77.
105. Majeed D.S.M., Reshetnikov M.V., Pleshakova Ye.V., Ngun C.T. Concentration of mobile forms of heavy metals in the soils of urban village Stepnoe // *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*. – Sofia: STEF92 Technology, 2019. – P. 103–108.
106. Morton-Bermea O., Hernandez E., Martinez Pichardo E., Soler Arechalde A.M., Lozano Santa Cruz R., Gonzalez Hernandez G., Beramendi Orosco L., Urrutia Fucugauchi J. Mexico City topsoils: heavy metals vs. magnetic susceptibility // *Geoderma*. 2009. Vol. 151. Iss. 3–4. Pp. 121–125.
107. Preetz H., Igel J., Hannam J.A., Stadler S. Relationship between magnetic properties and reddening of tropical soils as MARK indicators of weathering // *Geoderma*. 2017. Vol. 303. Pp. 143–149.
108. Qiao Q., Zhang C., Huang B., Piper J. Evaluating the environmental quality impact of the 2008 Beijing Olympic Games: magnetic monitoring of street dust in Beijing Olympic Park // *Geophysical Journal International*. 2011. Vol. 187. Iss. 3. Pp. 1222–1236.
109. Wang X.S., Qin Y. Correlation between magnetic susceptibility and heavy metal in urban topsoil: a case study from the city of Xuzhou, China // *Environmental Geology*. 2005. Vol. 49. Pp. 10–18.

110. Xie S.J., Dearing J.D., Bloemendal J. The organic matter content of street dust, Liverpool, UK and its association with dust magnetic properties // *Atmospheric Environment*. 2000. Vol. 34. Iss. 2. Pp. 269–275.
111. Yang T., Liu Q., Zeng Q., Chan L. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping // *Environmental Earth Sciences*. 2012. Vol. 66. Pp. 409–420
112. Yu Y., Zhang K., Liu L. Evaluation of the influence of cultivation period on soil redistribution in northeastern China using magnetic susceptibility // *Soil and Tillage Research*. 2017. Vol. 174. Pp. 14–23.
113. Zawadzki J., Fabijańczyk P. Reduction of soil contamination uncertainty assessment using magnetic susceptibility measurements and CO_EST method // *Proceedings of ECOpole*. 2008. Vol. 2. Iss. 1. Pp. 171–174.
114. Zhang C., Qiao Q., Appel E., Huang B. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods // *Journal of Geochemical Exploration*. 2012. Vol. 119–120. Pp. 60–75.
115. Zheng Y., Zhang S.H. Magnetic properties of street dust and topsoil in Beijing and its environmental implications // *Chinese Science Bulletin*. 2008. Vol. 53. Pp. 408–417.
116. Zhu Z., Han Z., Bi X., Yang W. The relationship between magnetic parameters and heavy metal contents of indoor dust in e waste recycling impacted area, Southeast China // *Science of the Total Environment*. 2012. Vol. 433. Pp. 302–308.
117. Zhu Z., Sun G., Bi X., Li Z., Yu G. Identification of trace metal pollution in urban dust from kindergartens using magnetic, geochemical and lead isotopic analyses // *Atmospheric Environment*. 2013. Vol. 77. Pp. 9–15.