

На правах рукописи



Маджид Длер Салам Маджид

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

Специальность 1.6.21. – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
кандидата географических наук

Саратов 2021

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Научный руководитель: **Решетников Михаил Владимирович**
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
Отделения геологии НИИ ЕН ФГБОУ ВО «Саратовский
национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»

**Официальные
оппоненты:** **Ларионов Максим Викторович**
доктор биологических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Российский
университет дружбы народов», профессор кафедры
экологической безопасности и менеджмента качества
продукции Института экологии

Селезнев Андриан Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт
геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской академии наук»
(г. Екатеринбург), старший научный сотрудник лаборатории
физики минералов и функциональных материалов

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный
университет»

Защита состоится «25» февраля 2022 г. в 11.00 часов на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 99.0.075.03 (Д 999.228.03) при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» по адресу: 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, д. 22.

Отзывы на автореферат (заверенные печатью, в двух экземплярах) просим направлять по адресу: 364061, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03) Гагаевой З.Ш. E-mail: geodissovet@mail.ru. Факс: 8 (8712) 22-36-07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: https://gstou.ru/science/dissertation_council/ и vak.minobrnauki.gov.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03)
кандидат географических наук



З.Ш. Гагаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в связи с развитием процесса урбанизации и ростом промышленного производства почвенный покров повсеместно загрязняется различными поллютантами. 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, Хвалынска, 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 возможности применения петромагнитного метода 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 применимы специалистами в области экологии и почвоведения при планировании и проведении мероприятий по комплексному экологическому мониторингу состояния окружающей среды на

территории исследованных населенных пунктов и прилегающих территорий; специалистами в области экологической геохимии и геоэкологии при районировании урбанизированных территорий по степени геохимической опасности; при проведении почвенно-экологической экспертизы по фактам нарушений земельного и экологического законодательства.

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. Используемые в работе методы выбраны согласно поставленным целям и задачам. В ходе исследования и изложения материала автором применялся ряд методов: метод анализа и обобщения литературных данных; метод сравнения, оценки и описания; 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 подвижных 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-ФВ в лаборатории петрофизики геологического факультета Саратовского университета. 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 термомагнитный 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 13 работ, из них: 2 – в изданиях, входящих в базу данных Scopus, 3 – 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 картографических работах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цель, задачи работы, представлены методология и методы исследования, охарактеризована научная новизна, описана практическая и теоретическая значимость исследования, приведены сведения об апробации и степени достоверности результатов диссертационного исследования.

В первой главе «Обзор литературы» представлены сведения об истории изучения магнитных свойств почв и их применении при решении прикладных задач в геоэкологии, геологии, почвоведении и сельском хозяйстве. Приводится анализ современных данных об изучении магнитных свойств почв урбанизированных территорий.

Во второй главе «Объекты и методы исследований» излагаются краткие сведения о природных условиях и геологическом строении исследуемых урбанизированных территорий (города Вольск, Петровск и Хвалынский Саратовской области). Указываются сведения о степени антропогенной нагрузки, развитии промышленности, численности автотранспорта и другие сведения, позволяющие в полной мере оценить возможное негативное влияние на почвенный покров в пределах полигонов исследования.

В главе приводятся сведения о методах и методиках, использованных при выполнении диссертационного исследования. Наиболее подробно характеризуются новые экспериментальные методы измерения магнитных свойств почв и методика обработки полученных данных.

В третьей главе «Результаты эколого-геохимических исследований» по результатам проведенных исследований на территории городов Вольска, Петровска и Хвалынского охарактеризовано эколого-геохимическое состояние почвенного покрова по содержанию подвижных форм тяжелых металлов (медь, никель, хром, цинк, свинец, кадмий). В данной главе приводится информация о распределении подвижных форм тяжелых металлов, их соотношении с фоновыми и предельно допустимыми концентрациями, а также сведения о формировании эколого-геохимических аномалий, их площади и интенсивности. Ниже приводятся краткие результаты эколого-геохимических исследований.

Для почв исследуемых городов установлены следующие геохимические ряды по средней концентрации подвижных форм тяжелых металлов: Zn>Pb>Cu>Ni>Cd>Cr (Вольск), Zn>Cu>Ni>Pb>Cd>Cr (Петровск), Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd (Хвалынский). Геохимические ряды распределения подвижных форм тяжелых металлов по средней концентрации для Петровска и Хвалынского практически идентичны, за исключением концентрации Cr и Cd, которые в числовом выражении почти равны. Для территории Вольска отмечается значительный рост содержания подвижных форм Pb, что

обусловлено, видимо, его интенсивным поступлением от техногенных источников (предположительно, автотранспорта).

Геохимические ряды элементов по отношению к предельно допустимой концентрации выглядят следующим образом: Pb>Cu>Zn>Ni>Cd>Cr (Вольск), Cu>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr (Петровск), Cu>Zn>Ni>Pb>Cd>Cr (Хвалынский). Таким образом, установлено, что для исследуемых городов основными загрязнителями почв являются подвижные формы соединений Cu, Zn, Ni и Pb. При этом отмечается значительная дифференциация концентрации подвижных форм Pb в почвах в городах с различной антропогенной нагрузкой и уровнем населения. В более крупном городе Вольске с высокой техногенной нагрузкой, представленной различными видами промышленности (в основном цементное производство и металлообработка) и населением более 50 000 человек (61,9 тысяч по данным 2020 г.) подвижные формы свинца являются основным загрязнителем почв из определяемых элементов. При снижении в городах уровня антропогенной нагрузки, и, главное, численности населения (на 1.01.2020 г. в Петровске проживало 28,2 тыс. чел., в Хвалынске – 12,3 тыс. чел.) роль подвижных форм соединений свинца в почвах закономерно снижается. При этом взаимоотношение между подвижными формами тяжелых металлов-загрязнителей Cu, Zn, Ni практически неизменно. Концентрации подвижных форм Cd и Cr не превышают предельно допустимых концентраций и в дальнейшем при проведении мониторинга эколого-геохимического состояния почв исследуемых городов определению этих элементов можно уделять меньшее внимание.

Результаты корреляционного анализа выявили значимые корреляционные взаимосвязи между следующими парами элементов:

– город Вольск: Cd–Cr ($r = 0,40$), Cr–Zn ($r = 0,41$) и Cd–Zn ($r = 0,64$). Значимые коэффициенты корреляции между элементами указывают на их единый источник происхождения. В случае пары Cd–Cr это представляется вполне логичным, учитывая, что концентрации элементов достаточно низки и не превышают ПДК, то можно предположить, что высокие корреляционные взаимосвязи между ними обусловлены единым минералогическим происхождением. Высокие корреляционные взаимосвязи хрома и кадмия с цинком, который является одним из основных загрязнителей почв, может указывать на единый источник поступления этих элементов, где цинк является основным элементом, а хром и кадмий элементами-примесями;

– город Петровск: Cd–Pb ($r = 0,61$), Pb–Zn ($r = 0,49$). Значимые коэффициенты корреляции связываются с общим источником поступления (предположительно автомобильный транспорт). Высокие корреляционные взаимосвязи свинца и кадмия с цинком, являющимся одним из основных загрязнителей почв, указывают на единый источник поступления этих элементов, где цинк является основным элементом, а свинец и кадмий элементами-примесями;

– город Хвалынский: Cd–Pb ($r = 0,61$), Pb–Zn ($r = 0,49$) и Zn–Cd ($r = 0,42$). Значимые коэффициенты корреляции между этими элементами, вероятно, обусловлены единым источником происхождения (автотранспорт). Высокие

корреляционные взаимосвязи свинца и кадмия с цинком, как одним из основных загрязнителей почв, может указывать на единый источник поступления этих элементов, где цинк является основным элементом, а свинец и кадмий элементами-примесями.

Суммарное загрязнение почв оценивалось тремя параметрами: классический коэффициент суммарного загрязнения, рассчитанный по коэффициенту концентрации (Z_c); коэффициент суммарного загрязнения по коэффициенту опасности (Z_o) и индекс загрязнения почвы (ИЗП).

При расчете классического коэффициента суммарного загрязнения (Z_c), опирающегося на коэффициенты концентрации элементов, установлено, что в пределах Вольска почвы испытывают максимальное антропогенное воздействие (среднеарифметическое значение $Z_c = 80,1$). Уровень загрязнения почв по результатам расчета Z_c уменьшается в почвах Хвалынска (29 ед.). Наименьшее среднее значение суммарного коэффициента загрязнения отмечается в почвах Петровска (3,83 ед.). По полученным результатам нарушается предположение о линейном влиянии количества населения на уровень загрязнения. Так, установлено, что в Хвалынске суммарное загрязнение почв выше, чем в Петровске с большим населением.

Сложившаяся ситуация объясняется различными концентрациями подвижных форм тяжелых металлов на местных фоновых участках, выбранных для исследуемых городов. Для почв фоновых участков для города Вольск и города Хвалынск концентрации подвижных форм тяжелых металлов практически идентичны, а для города Петровск они значительно выше (таблица 1).

Таблица 1 – Значения концентрации подвижных форм тяжелых металлов на фоновых участках (мг/кг)

элемент город	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
Хвалынск	5,69	2,31	0,16	0,08	0,43	5,84

Разница в концентрации фоновых значений подвижных форм тяжелых металлов обусловлена различиями в геологическом строении, а именно – в различных материнских породах. На территориях городов Вольска и Хвалынска почвы формируются преимущественно на карбонатных породах мелового возраста, а в пределах города Петровска – на покровных суглинках четвертичного возраста.

Таким образом, приходим к выводу, что использование суммарного коэффициента загрязнения, рассчитываемого от фоновой концентрации элемента, не всегда отражает реальную эколого-геохимическую обстановку по загрязнению почв.

В работе рассчитаны некоторые альтернативные показатели суммарного загрязнения почв. Одним из таких показателей является суммарный

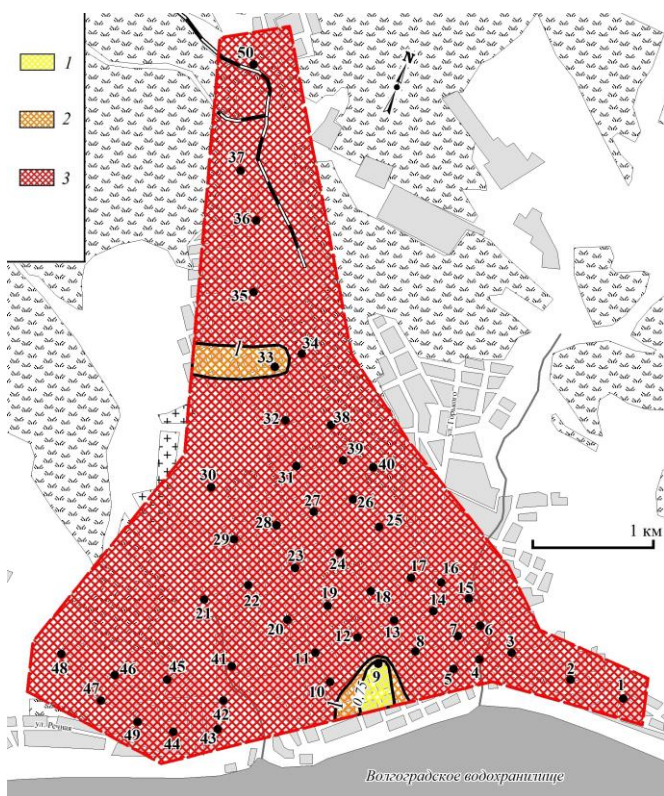
коэффициент опасности Z_o , который рассчитывается по формуле, аналогичной для расчета Z_c , но вместо коэффициента концентрации K_c суммируются коэффициенты опасности K_o . Значения суммарного коэффициента опасности не регламентируются нормативными документами, вследствие чего решено принять классификацию, используемую для показателя Z_c . Подобная интерпретация не является общепринятой, а использована в работе в качестве экспериментальной и требует дополнительного обсуждения.

При анализе распределения суммарного коэффициента опасности по исследуемым городам установлено, что в пределах города Вольска почвы испытывают максимальное антропогенное воздействие (среднеарифметическое значение $Z_o = 8,17$). Меньший уровень загрязнения почв по результатам расчета Z_o наблюдается в почвах города Хвалынска со среднеарифметическим значением в 6,61 единиц. Наименьшее значение суммарного коэффициента опасности отмечается в почвах города Петровска (1,60 единиц). Таким образом, при использовании коэффициента суммарной опасности Z_o получены данные об эколого-геохимическом состоянии почв исследуемых городов, схожие с результатами при использовании коэффициента суммарного загрязнения Z_c .

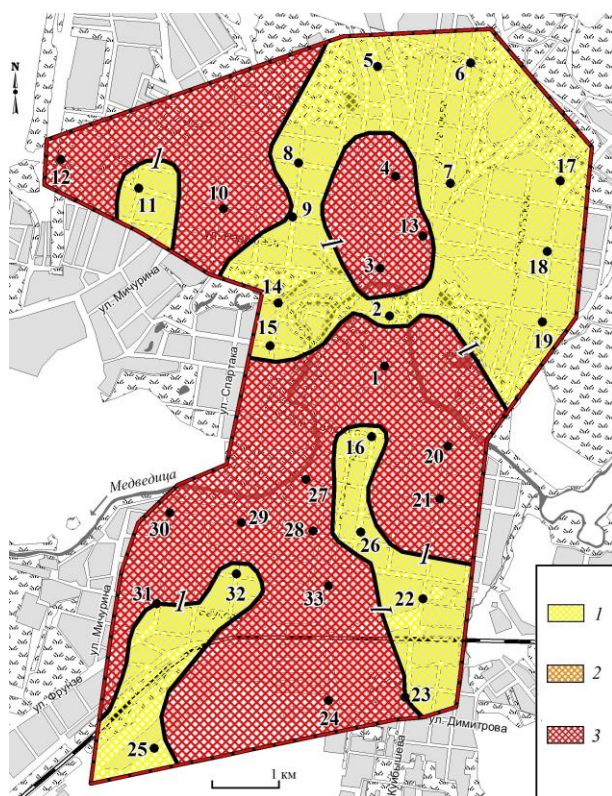
Еще одним интегральным показателем загрязнения почвы является индекс загрязнения почвы (ИЗП), в основе которого лежит суммирование коэффициентов опасности. По мнению Н.А. Богданова (2014), использование принципа расчета показателя ИЗП обеспечивает гигиенически обоснованную дифференциацию территории по степени опасности проживания. При использовании ИЗП для оценки категории загрязнения используется следующая классификация: от 0 до 0,75 единиц – участок можно отнести к категории «чистый»; от 0,75 до 1 – «проблемный» и более 1 – «загрязненный».

При анализе распределения индекса загрязнения почвы обнаружено, что в пределах города Вольска почвы испытывают максимальное антропогенное воздействие (среднеарифметическое значение ИЗП = 2,19). Меньший уровень загрязнения почв по результатам расчета ИЗП наблюдается в почвах города Хвалынска со среднеарифметическим значением в 1,94 единиц. 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 .

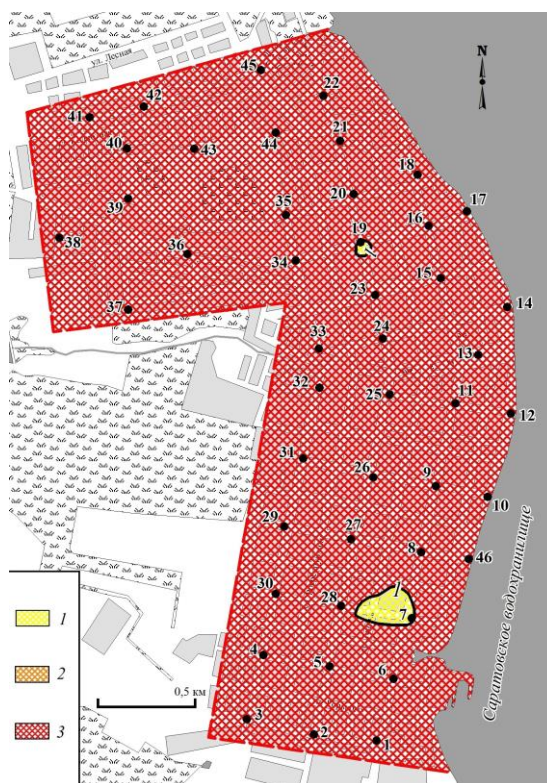
По результатам оценки состояния почвенного покрова по трем рассчитанным показателям суммарного загрязнения установлено, что для территорий исследуемых городов сохраняются общие выводы о степени загрязнения почвенного покрова. Наиболее загрязненные почвы по всем трем интегральным показателям располагаются на территории города Вольска. Следующие по степени загрязнения почвы расположены на территории Хвалынска, а наименее загрязнённые почвы относятся к территории Петровска (рисунок 1).



а



б



в

Рисунок 1 – Схемы распределения индекса загрязнения почв: а – Вольск, б – Петровск, в – Хвалы́нск. Цифрами обозначены категории загрязнения по ИЗП: 1 – чистая (<0,75 ед.), 2 – проблемная (0,75–1 ед.), 3 – загрязненная (>1 ед.)

На наш взгляд, из трех рассчитанных показателей суммарного загрязнения индекс загрязнения почвы обеспечивает гигиенически обоснованную

дифференциацию территории по степени опасности проживания. Индекс загрязнения почвы основывается на гигиенических нормативах, поэтому интерпретация результатов его расчетов зачастую безальтернативна и наиболее результативна в диагностике эколого-гигиенического состояния урбанизированных территорий.

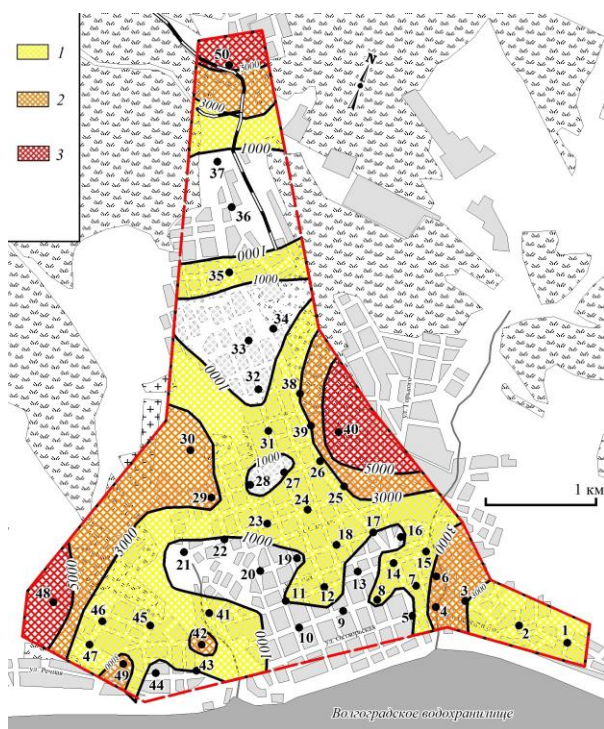
По результатам определения концентрации органического вещества ($C_{орг.}$) и нефтепродуктов для территорий городов установлено два основных эколого-геохимических процесса, связанных с геохимией соединений углерода. Первый процесс – снижение концентрации органического вещества в почвах урбанизированных территорий по сравнению с их фоновыми концентрациями. Этот процесс отмечается для многих городов и обусловлен рядом негативных процессов в почвенном покрове, среди которых важную роль играют загрязнение почв различными поллютантами, процессы уплотнения почв в пределах населенных пунктов и некоторые другие. Таким образом, почвенный покров исследуемых городов требует внимания со стороны природоохранных служб с целью восстановления экологических функций.

Второй процесс – рост содержания нефтепродуктов в почвах исследуемых городов, вплоть до концентрации, превышающей ориентировочно допустимую (таблица 2). Подобный процесс отмечается для большинства почв урбанизированных территорий. Причиной этого процесса является увеличение числа автомобильного транспорта в городах. Помимо непосредственно нефтепродуктов, в почву поступает ряд других специфических загрязнителей органического происхождения. Таким образом, нефтепродукты и продукты их горения становятся одними из приоритетных загрязнителей в почвах урбанизированных территорий и требуют особого контроля со стороны природоохранных служб.

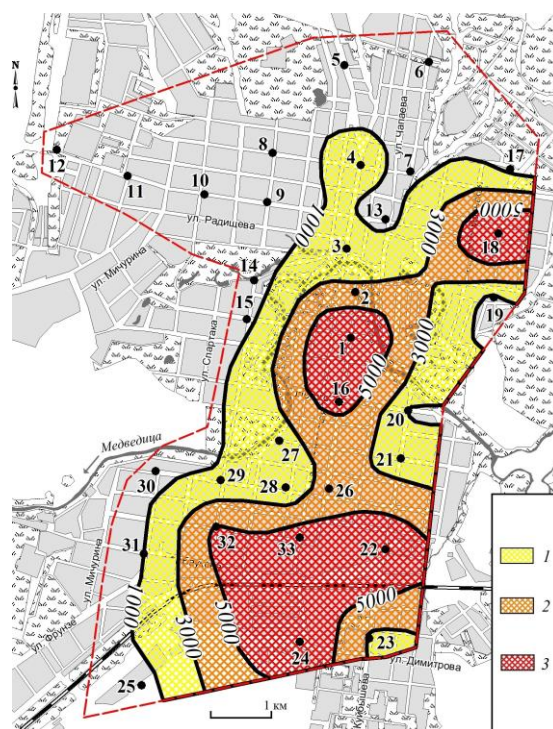
Таблица 2 – Средние значения содержания нефтепродуктов и органического вещества на городских территориях и на фоновых участках

Показатель	Вольск		Петровск		Хвалынский	
	город	фон	город	фон	город	фон
$C_{орг.}, \%$	1,88	2,25	1,95	2,34	2,13	2,25
Нефтепродукты, мг/кг	1952,8	366	2304,8	357	991,3	366

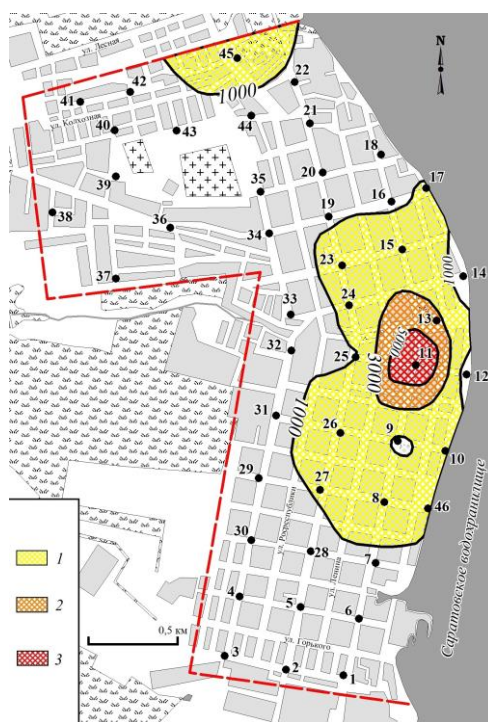
Наибольшие потери органического вещества в почвах происходят на территории Вольска, наименьшие – на территории Хвалынского, что в целом согласуется с уровнем антропогенной нагрузки на территории этих городов. В то же время в количественном выражении концентрация нефтепродуктов в почвах Петровска выше, чем в Вольске, где уровень антропогенной нагрузки значительно выше. При изучении пространственного распределения концентрации нефтепродуктов в почвах установлено наличие крупных площадных зон с аномально высоким содержанием, превышающим нормативные показатели содержания нефтепродуктов в почвах (рисунок 2).



а



б



в

Рисунок 2 – Схемы распределения нефтепродуктов в почвах: а – Вольск, б – Петровск, в – Хвалы́нск. Цифрами обозначено содержание нефтепродуктов: 1 – 1000–3000 мг/кг, 2 – 3000–5000 мг/кг, 3 – свыше 5000 мг/кг

На территории Вольска и Петровска зоны с аномальным содержанием нефтепродуктов имеют сложную конфигурацию и распространены практически по всей территории городов. На территории Хвалынска загрязнение нефтепродуктами приурочено строго к автомобильным дорогам с высоким уровнем движения транспорта. Наблюдается процесс формирования аномальных

зон содержания нефтепродуктов от низкоинтенсивной локальной аномалии в Хвалынске с небольшим населением, низкой интенсивностью движения автомобильного транспорта и отсутствием железнодорожного транспорта до интенсивных площадных аномалий на территории среднего по численности города, высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта и наличием железнодорожного полотна.

По результатам исследований, изложенных в данной главе диссертационной работы, сформулированы и обоснованы первое и второе положения, выносимые на защиту.

В четвертой главе «Эколого-геофизические параметры исследуемых почв» представлены результаты определения магнитных свойства почв: удельная 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 терромагнитный коэффициент ($d\chi$), отражающий прирост магнитной восприимчивости после нагрева образца до 500°C.

Измерение магнитных свойств почв проводилось с целью обоснования их применения при оценке степени техногенной трансформации, а также для установления взаимосвязей с эколого-геохимическими показателями (концентрация тяжелых металлов, органического вещества, нефтепродуктов). В почвах исследуемых городов по сравнению с фоновыми участками наблюдается повышение средних значений χ_{lf} и χ_{hf} и их значительные вариации, а средние значения χ_{fd} значительно снижаются. Возрастание χ_{lf} и χ_{hf} связано с попаданием в городские почвы частиц сильномагнитных минералов железа техногенного происхождения, а понижение средних значений χ_{fd} на городской территориях может связываться с доминированием в городских почвах крупных многодоменных частиц, а также с нарушением в почвах биохимических процессов, участвующих в синтезе суперпарамагнитных частиц. Установленные закономерности, на наш взгляд, могут являться диагностическим показателем трансформации естественных почв в модификации городских почв.

Наиболее показательно поступление магнитных минералов в почвы городов отражается через распределение коэффициента магнитности. Коэффициент магнитности рассчитывается как соотношение между значениями удельной магнитной восприимчивости в пробе к усредненному значению магнитной восприимчивости на фоновом участке, тем самым отражая увеличение или уменьшение концентрации магнитных минералов в городских почвах по отношению к их природным аналогам. По площадному распределению коэффициента магнитности можно судить о формировании в городских почвах зон с аномальными значениями магнитной восприимчивости, которые интерпретируются как зоны техногенной трансформации почв. На рисунке 3 представлены схемы распределения коэффициента магнитности в почвах исследуемых городов с указанием степени их трансформации.

Экспрессность, высокая продуктивность и информативность метода измерения магнитной восприимчивости, а также возможность получения

информации в полевых условиях свидетельствуют, что петромагнитный метод – эффективный метод получения эколого-геофизической информации на ранних этапах геоэкологического мониторинга почв урбанизированных территорий. Зоны аномальных значений магнитной восприимчивости являются потенциальными зонами загрязнения почв различными токсикантами, в первую очередь, тяжелыми металлами. Данные о корреляционной взаимосвязи между магнитными свойствами и концентрацией подвижных форм тяжелых металлов отражены в таблице 3.

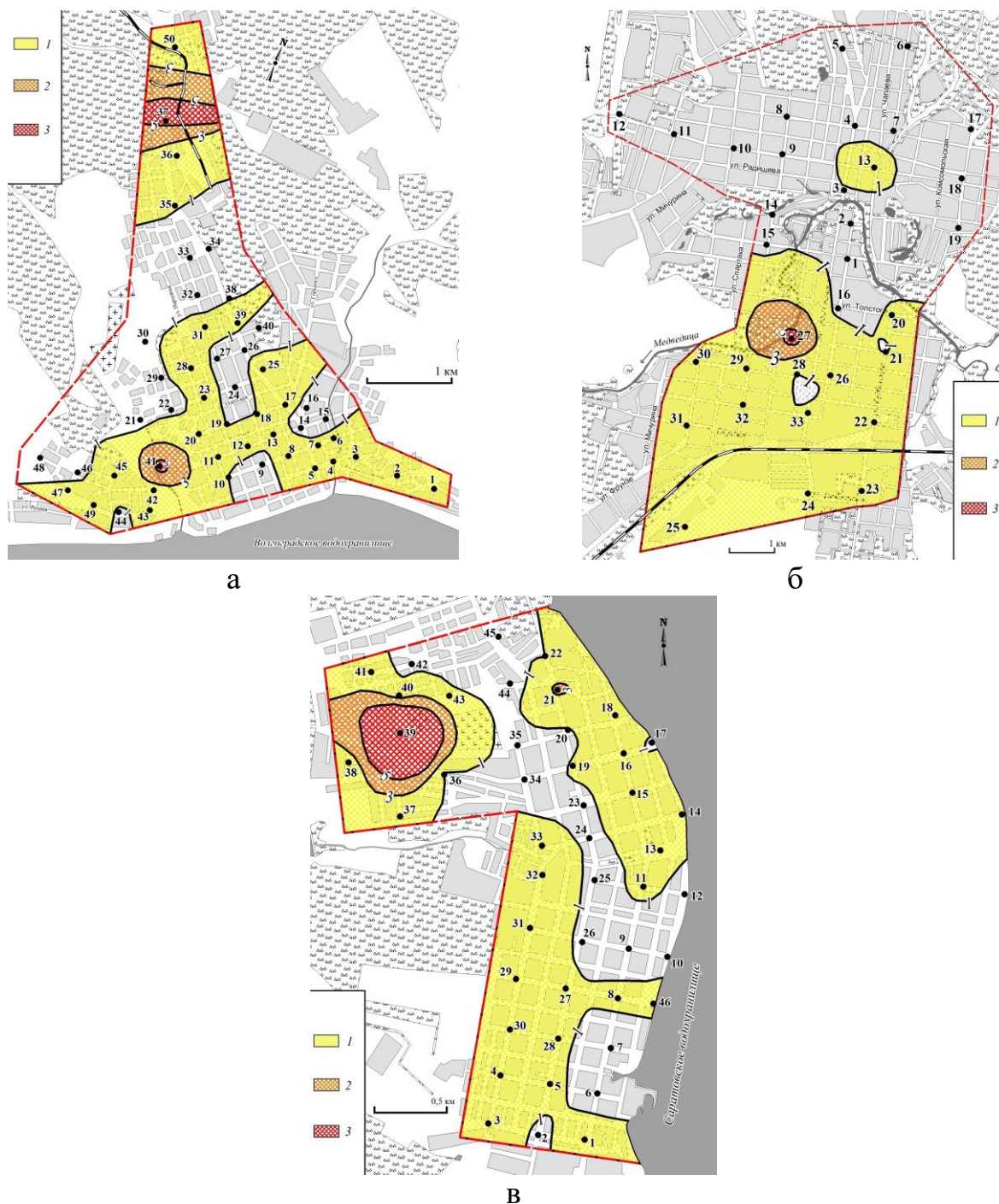


Рисунок 3 – Схема распределения коэффициента магнитности в почвах: а – Вольск, б – Петровск, в – Хвалынский. Цифрами обозначена величина K_{mag} : не закрашены участки с $K_{mag} < 1$ ед., 1 – 1–3 ед., 2 – 3–5 ед., 3 – свыше 5 ед.

Таблица 3 – 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 Вольска (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
<i>Почвы города Петровска (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
<i>Почвы города Хвалынска (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

Корреляционные взаимосвязи между магнитными свойствами почв и концентрацией подвижных форм тяжелых металлов начинают проявляться с возрастанием уровня антропогенной нагрузки и ростом численности населения в городах. В почвах Хвалынска значимые коэффициенты корреляции между исследуемыми параметрами не установлены. В почвах Петровска выявлены значимые корреляционные связи между концентрацией подвижных форм никеля и частотной зависимостью магнитной восприимчивости, что возможно указывает на состав магнитных частиц суперпарамагнитной размерности. В почвах Вольска, который испытывает высокую антропогенную нагрузку, выявлено наибольшее количество значимых корреляционных взаимосвязей. В паре χ_{fd} -Ni (0,31), аналогично почвам Петровска, наблюдаются значимые взаимосвязи. Значения коэффициента корреляции в парах χ_{lf} -Pb (0,55) и χ_{fd} -Pb (-0,31) указывает на приуроченность соединений свинца к крупным магнитным частицам техногенного происхождения, которые вносят свой вклад в формирование χ_{lf} . Особый интерес представляют значимые корреляционные взаимосвязи в паре χ_{lf} -Zc (0,54), что свидетельствует о тесной взаимосвязи между распределением суммарного загрязнения почв и их магнитными свойствами и указывает на перспективность применения петромагнитного метода при выделении зон потенциального загрязнения почв в городах с высоким уровнем антропогенной нагрузки.

Особое внимание в работе уделено распределению терромагнитного коэффициента в городских почвах. Терромагнитный коэффициент отражает прирост магнитной восприимчивости почв после нагрева до 500°C, вызываемый фазовым переходом немагнитных минералов железа почвы (пирит, сидерит и др.) в магнитные (магнетит). Синтез немагнитных минералов в почве обусловлен несколькими процессами, в том числе и биогеохимической деятельностью бактерий, активность которых связана с содержанием в почве определенных органических соединений (углеводородные газы, нефтепродукты). Зоны аномального распределения терромагнитного эффекта в почвах могут указывать на участки потенциального загрязнения соединениями углеводородов.

Значения термомагнитного коэффициента в почвах фоновых участков в среднем составляют для Вольска и Хвалынска – 1,5 ед., для Петровска – 1,29 ед., т.е. для естественных почв установлено отсутствие проявления термомагнитного эффекта. В почвах исследуемых урбанизированных территорий термомагнитный коэффициент проявляется заметно интенсивнее: в Вольске изменяется от 0,64 до 7,82 при среднем значении 2,39 ед.; для Петровска – от 0,69 до 7,71 при среднем значении 3,17 ед.; для Хвалынска – от 0,25 до 22,51 при среднем значении 5,52 ед.

По результатам определения термомагнитного коэффициента в почвах построены пространственные схемы распределения (рисунок 4).



Рисунок 4 – Схема распределения термомагнитного коэффициента в почвах: а – Вольск, б – Петровск, в – Хвалы́нск. Цифрами обозначена величина dK : не закрашены участки с $dK < 3$ ед., 7 – 3–5 ед., 8 – свыше 5 ед.

Значительный рост терромагнитного коэффициента в почвах урбанизированных территорий, на наш взгляд, является диагностическим показателем трансформации почв относительно естественных аналогов. Формирующиеся в городских почвах аномалии терромагнитного коэффициента указывают на увеличение количества немагнитных минералов железа, образование которых может быть обусловлено как природными (приток углеродородных газов из подпочвенных горизонтов), так и техногенными (загрязнение углеводородами) процессами.

Пространственное распределение зон аномально высоких значений терромагнитного коэффициента может быть связано как с зонами биогеохимической активности почвенной микробиоты, так и с зонами загрязнения почв органическими поллютантами. Результаты определения терромагнитного коэффициента сопоставлены со значениями χ_{fd} , концентрацией органического вещества и нефтепродуктов (таблица 4).

Таблица 4 – Корреляционные взаимосвязи между терромагнитным эффектом, χ_{fd} , концентрацией органического вещества и нефтепродуктов

	$d\chi$	χ_{fd}	$C_{орг.}$	Нефтепродукты
<i>Почвы города Вольск (n=50; p=0,05; r=0,27)</i>				
$d\chi$	1,00	0,24	0,27	-0,09
χ_{fd}		1,00	0,14	-0,07
$C_{орг.}$			1,00	0,15
Нефтепродукты				1,00
<i>Почвы города Петровск (n=33; p=0,05; r=0,35)</i>				
$d\chi$	1,00	0,15	0,33	-0,19
χ_{fd}		1,00	-0,03	-0,46
$C_{орг.}$			1,00	-0,07
Нефтепродукты				1,00
<i>Почвы города Хвалынский (n=46; p=0,05; r=0,29)</i>				
$d\chi$	1,00	0,15	0,19	0,22
χ_{fd}		1,00	-0,14	-0,20
$C_{орг.}$			1,00	0,24
Нефтепродукты				1,00

Значимые значения коэффициента корреляции между изучаемыми параметрами не установлены, за исключением значимого коэффициента корреляции в паре χ_{fd} –нефтепродукты (-0,46), указывающего на негативное влияние концентрации нефтепродуктов на синтез магнитных минералов суперпарамагнитной размерности. Отсутствие значимых корреляционных взаимосвязей между терромагнитным коэффициентом, органическим веществом и концентрацией нефтепродуктов является важным диагностическим показателем при проведении геоэкологических исследований почв урбанизированных территорий.

По результатам исследований, изложенных в данной главе диссертационной работы, сформулировано и обосновано третье положение, выносимое на защиту.

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. Очевидно, при таком небольшом объеме исследований о детальном наблюдении и картографировании почв городов не может идти речи.

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, среди которых можно выделить:

- контроль качества 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;

- организация систем 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;

- 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;

- проведение технической и биологической рекультивации 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;

- соблюдение необходимых санитарных норм и правил. 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.

- организация почвенно-геохимических съемок 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. При помощи комплексного подхода применения современных методов магнитного анализа изучены почвы урбанизированных территорий с различным уровнем антропогенной нагрузки и количеством проживающего населения. Установлено, что в исследуемых почвах происходит рост значений χ_{lf} и χ_{hf} и их значительные статистические вариации, а средние значения χ_{fd} значительно снижаются. Рост χ_{lf} и χ_{hf} обусловлен поступлением техногенных магнитных частиц, а снижение χ_{fd} – загрязнением почв.

2. В почвах исследованных городов обнаружено наличие зон аномальных значений концентрации подвижных форм ряда тяжелых металлов, которые превышают установленные нормативные показатели. Выявлено, что для почв Вольска основными загрязнителями являются подвижные формы соединений $Pb > Cu > Zn > Ni$; Петровска – $Cu > Zn > Pb > Ni$; Хвалынска – $Cu > Zn > Ni > Pb$.

3. Наиболее информативным показателем суммарного загрязнения почвенного покрова является индекс загрязнения почв, как наиболее объективно отражающий реальное эколого-гигиеническое состояние почв урбанизированных территорий.

4. В почвах исследованных городов протекают два основных процесса, связанных с геохимией соединений углерода: первый – уменьшение концентрации органического вещества почвы, свидетельствующее о снижении экологического потенциала городских почв; второй – рост содержания нефтепродуктов в результате антропогенного загрязнения почв.

5. Значимые корреляционные взаимосвязи между распределением магнитных свойств почв и концентрацией подвижных форм тяжелых металлов начинают активно проявляться в почвах урбанизированных территорий с высоким уровнем антропогенного воздействия и населением свыше 50 тысяч человек. В городах с низкой антропогенной нагрузкой и населением менее 50 тысяч человек эти взаимосвязи не проявляются.

6. Установлено, что зоны аномальных значений магнитной восприимчивости, частотной зависимости магнитной восприимчивости и терромагнитного коэффициента указывают на зоны активной антропогенной трансформации городских почв и, соответственно, результаты исследования магнитных свойств почв могут активно использоваться при диагностике геоэкологического состояния почв урбанизированных территорий.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

I. В изданиях из списка Web of Science и/или Scopus:

1. **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.

2. **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.

II. В изданиях, рекомендованных ВАК:

3. 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.

4. 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.

5. **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.

III. Зарегистрированные базы данных (Роспатент):

6. 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.

7. 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 Хвалынский (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.

8. 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.

9. 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 Хвалынский (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.

IV. В других изданиях:

10. **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.

11. **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.

12. 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.

13. 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.